

10/552355

1020 Rec'd PCT/PTO 06 OCT 2005  
710.1032

**IN THE UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE**

Re: Application of: Martin DAFERNER, et al.  
Serial No.: To Be Assigned  
Filed: Herewith as national phase of International Patent  
Application PCT/EP2004/001732 filed February 21, 2004  
For: **METHOD FOR CONTROLLING AND PLANNING  
THE ORDER OF PRODUCTION**

Mail Stop: PCT  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

October 6, 2005

**LETTER RE: PRIORITY**

Sir:

Applicants hereby claim priority of German Application Serial No. DE 103 16 102.3,  
filed April 9, 2003 through International Patent Application Serial No. PCT/EP2004/001732,  
filed February 21, 2004.

Respectfully submitted,

DAVIDSON, DAVIDSON & KAPPEL, LLC

By   
William C. Gehris, Reg. No. 38,156

Davidson, Davidson & Kappel, LLC  
485 Seventh Avenue, 14th Floor  
New York, New York 10018  
(212) 736-1940



REC'D 29 MAR 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 16 102.3

**Anmeldetag:** 09. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG,  
70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Steuerung und Planung der  
Fertigungsreihenfolge

**IPC:** G 05 B 13/02

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 04. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

157-010

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

03.04.2003

Verfahren zur Steuerung und Planung der Fertigungsreihenfolge

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Steuerung eines Fertigungsprozesses zur Serienfertigung auftrags-spezifischer Produkte. Die auftragsspezifischen Produkte sind beispielsweise Kraftfahrzeuge, die aufgrund von Kundenaufträgen hergestellt werden und sich in vielen Merkmalen voneinander unterscheiden. Der Fertigungsprozeß umfaßt einen ersten und einen zweiten Teilprozeß, beispielsweise den Rohbau als ersten und den Teilprozeß „Oberfläche“ mit den Lackierstraßen als zweiten oder die Oberfläche als ersten und den Inneneinbau als zweiten Prozeß.
- 10
- 15 Ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus DE 19927563 A1 bekannt. Offenbart wird eine Trennung von Abfolge der Fertigungsobjekte und Abfolge der Aufträge. In einem ersten Teilprozeß, dort Produktionsschritt genannt, wird gemäß der Auftrags-Abfolge eine Abfolge von Fertigungsobjekten gefertigt. Jedes Fertigungsobjekt, dort Produkt genannt, entsteht aufgrund eines Auftrags der Auftrags-Abfolge. Nachdem ein Fertigungsobjekt den erste Teilprozeß durchlaufen hat, wird ihm derselbe oder aber ein anderer Auftrag temporär zugeordnet. Hierdurch werden ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag für den zweiten Teilprozeß ausgewählt. Ein Arbeitsauftrag an den zweiten Teilprozeß zur Bearbeitung des ausgewählten Fertigungsobjekts gemäß des ausgewählten Auftrags wird
- 20
- 25

erzeugt und beim Durchlauf des Fertigungsobjekts durch den zweiten Teilprozeß abgearbeitet.

Bei Anwendung des in DE 19927563 A1 offenbarten Verfahrens kann es häufig passieren, daß dem ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge nicht der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge zugeordnet wird, sondern ein späterer Auftrag. Ein Grund hierfür ist, daß das aufgrund des ersten Auftrags gefertigte Fertigungsobjekt im ersten Teilprozeß verzögert fertiggestellt und von einem anderen Fertigungsobjekt überholt wurde. Die Bearbeitung des ersten Auftrags im zweiten Teilprozeß wird dadurch verspätet begonnen, und die Gefahr besteht, daß das Produkt für den ersten Auftrag verspätet fertiggestellt wird.

In US 5,229,948 wird ein Verfahren offenbart, um automatisch die Systemparameter eines seriellen Fertigungsprozesses („manufacturing system“) zu optimieren, so daß vorgegebene Anforderungen z. B. hinsichtlich der Anzahl hergestellter Produkte erfüllt werden. Zu den Systemparametern gehören Taktzeit („cycle time“), Kapazitäten von Zwischenspeichern („buffers“) für Fertigungsobjekte, Prozeß-Ressourcen und maximale Reparaturzeiten. Die Fertigungsobjekte durchlaufen Zwischenspeicher beispielsweise zwischen Teilprozessen, die jeweils parallel Fertigungsstraßen besitzen. Ein stochastisches Modell wird vorgestellt. Dessen Optimierung liefert eine Belegung der gesuchten Systemparameter. Das in US 5,229,948 offenbarte Verfahren läßt sich auf die Fertigung gleichartiger, also nicht auftragspezifischer, Produkte anwenden.

In DE 19902056 C1 wird ein Verfahren offenbart, um eine Reihenfolge unter Aufträgen für Kraftfahrzeuge festzulegen, wobei einzelne Aufträge zu einer Auftrags-Abfolge zusammengestellt werden. Hierfür werden technische Merkmale des durch einen Auftrag jeweils spezifizierten Produkts gewichtet, die vorliegenden Aufträge werden aufgrund der Merkmale und ihrer Gewichtungen bewertet, und eine Gesamtbewertung jeder möglichen Auftrags-Abfolge wird erzeugt. Das Verfahren legt nicht fest, in welcher Reihenfolge Fertigungsobjekte für die Pro-

dukte, die durch die Auftrags-Abfolge spezifiziert werden, gefertigt werden.

Aus DE 19815619 A1 ist die Verwendung eines Puffers für Fertigungsobjekte bekannt. Dieser Puffer dient dazu, Fertigungs-  
5 objekte für den nachfolgenden Fertigungsprozeß neu aufzureihen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu schaffen, durch das weniger Aufträge verspätet dem zweiten Teilprozeß zugeführt werden.  
10

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 25 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden durch die Unteransprüche festgelegt.

Eine Abfolge von in elektronischer Form vorliegenden Aufträgen für Produkte, die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, wird erzeugt. Im ersten Teilprozeß wird gemäß der Auftrags-  
15 Abfolge eine Abfolge von Fertigungsobjekten gefertigt. Ein Auswahlvorgang wird durchgeführt, bei dem ein Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge und ein Auftrag der Auf-  
20 trags-Abfolge, die zueinander passen, ausgewählt werden. Auswahlvorgang und Produktfertigung werden wiederholt, bis für jeden Auftrag der Auftrags-Abfolge ein Produkt gefertigt ist.

Erfindungsgemäß wird ein Sortierpuffer mit Plätzen für Fertigungsobjekte vorgesehen. Der Sortierpuffer wird zwischen dem  
25 ersten und dem zweiten Teilprozeß angeordnet und erlaubt vorzugsweise einen wahlfreien Zugriff auf jedes in ihn eingestellte Fertigungsobjekt. Falls zum ersten Auftrag der Auftrags-Abfolge nicht das erste Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt, wird ein zum Auftrag passendes Fer-  
30 tigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorgezogen. Dies wird erreicht, indem alle Fertigungsobjekte der Fertigungsobjekt-Abfolge vor dem passenden Fertigungsobjekt zeitweise in den Sortierpuffer eingestellt werden, bis das passende Fer-  
35 tigungsobjekt das erste Fertigungsobjekt ist. Das auf den ers-

ten Platz vorgezogene Fertigungsobjekt und der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge werden ausgewählt, und das ausgewählte Fertigungsobjekt wird gemäß dem ausgewählten Auftrag im zweiten Teilprozeß bearbeitet.

- 5 Durch die Erfindung wird erreicht, daß der erste Auftrag häufiger als im Verfahren gemäß DE 19927563 A1 ohne Verzögerung dem zweiten Teilprozeß zugeführt wird. Die Verwendung des Sortierpuffers ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Gestaltung des Fertigungsprozesses und/oder die zur Verfügung  
10 stehenden Räumlichkeiten in einer Fertigungsstätte es nicht erlauben, daß ein Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge ein anderes Fertigungsobjekt überholt.

- Jedes Fertigungsobjekt wird im ersten Teilprozeß aufgrund eines Auftrags der Auftrags-Abfolge gefertigt. Dieses Fertigungsobjekt besitzt eine bestimmte Position in der Fertigungsobjekt-Abfolge. Diese Position kann von der Position  
15 desjenigen Auftrags, aufgrund dessen das Fertigungsobjekt gefertigt wurde, abweichen. Das Fertigungsobjekt kann diesem Auftrag sowohl vorausgehen als auch nachfolgen. In diesem  
20 Fall kann es erforderlich sein, das Fertigungsobjekt zwischenzulagern. Die Erfindung macht es aber nicht erforderlich, den Sortierpuffer so groß zu dimensionieren, daß alle Fertigungsobjekte zwischengelagert werden, die vor dem Fertigungsobjekt kommen, das aufgrund des ersten Auftrags der Auftrags-Abfolge gefertigt wurde. Vielmehr wird das erste Fertigungsobjekt, das zum ersten Auftrag paßt, ausgewählt, und  
25 dieses passende kann ein anderes Fertigungsobjekt sein als das, was aufgrund des ersten Auftrags gefertigt wurde.

- Vorzugsweise wird der Fertigungsprozeß so organisiert, daß  
30 sich die Fertigungsobjekte nach Verlassen des ersten Teilprozesses nur in relativ wenigen Merkmalen mit jeweils wenigen Ausprägungen voneinander unterscheiden. In diesem Fall läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft anwenden. Denn diese relativ geringe Varianz läßt sich dank des  
35 Verfahrens ausnutzen, um die Aufgabe des Verfahrens zu lösen und dafür einen Sortierpuffer mit nur relativ wenigen verfüg-

5   baren Plätzen zu verwenden. Denn weil die Fertigungsobjekte eine relativ geringe Varianz aufweisen, paßt relativ oft eines der ersten Fertigungsobjekte zum ersten Auftrag, und im Durchschnitt werden nur relativ wenige Fertigungsobjekte in den Sortierpuffer eingestellt.

10   Der Fertigungsprozeß läßt sich durch die Ausgestaltung der Prüfung, ob ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag zueinander passen, so steuern, daß vorgegebene Anforderungen erfüllt und vorgegebenen Randbedingungen eingehalten werden. Falls beispielsweise der Sortierpuffer relativ wenige verfügbare Plätze bietet, so wird vorzugsweise die Prüfung so durchgeführt, daß relativ viele Fertigungsobjekte zu einem Auftrag passen. Dies wird z. B. dadurch erreicht, daß bei der Prüfung nur wenige Produkt-Merkmale berücksichtigt werden. Dann werden im  
15   Durchschnitt nur relativ wenige Fertigungsobjekte als nicht passend in den Sortierpuffer eingestellt. Der zweite Teilprozeß muß dann so flexibel ausgestaltet werden, daß er ein ausgewähltes Fertigungsobjekt auch dann gemäß eines ausgewählten Auftrags bearbeiten kann, wenn das Fertigungsobjekt nur hinsichtlich  
20   relativ weniger Merkmale zum Auftrag paßt.

Falls hingegen der zweite Teilprozeß auf großen Durchsatz hin optimiert ist und wenig flexibel ist, so wird bevorzugt die Prüfung so durchgeführt, daß viele Merkmale des Fertigungsobjekts zu den entsprechenden Produkt-Merkmalen passen müssen, damit Fertigungsobjekt und Auftrag als passend gewertet werden. Zweckmäßigerweise wird ein Sortierpuffer mit vielen  
25   Plätzen vorgesehen.

Berücksichtigt wird die Einschränkung, daß sich nicht beliebig viele Fertigungsobjekte in den Sortierpuffer einstellen  
30   lassen. Vielmehr besitzt der Sortierpuffer eine festgelegte Höchstanzahl verfügbarer Plätze für Fertigungsobjekte. Beispielsweise hat der Sortierpuffer die Form eines Hochregallagers oder von Stellplätzen auf einer Freifläche. Daher wird vor der Auswahl eines passenden Fertigungsobjekts geprüft, ob  
35   alle Fertigungsobjekte vor dem passenden Fertigungsobjekt Platz im Sortierpuffer haben. Hierbei wird geprüft, ob für

alle Fertigungsobjekte, die in der Fertigungsobjekt-Abfolge vor einem zum ersten Auftrag passenden Fertigungsobjekt angeordnet sind, freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind. Nur dann, wenn genügend freie Plätze verfügbar sind, wird das  
5 passende Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorgezogen und gemeinsam mit dem Auftrag ausgewählt.

Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, daß Fertigungsobjekt wieder aus dem Sortierpuffer zu entnehmen, wenn dies möglich ist. Dadurch wird ein Platz wieder zur Verfügung ge-  
10 stellt. Vorzugsweise werden daher zunächst die Fertigungsobjekte im Sortierpuffer und erst dann Fertigungsobjekte der Fertigungsobjekt-Abfolge mit dem ersten Auftrag der Auftrags-Abfolge verglichen. Gemäß Anspruch 6 werden bei einem Auswahlvorgang dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge  
15 zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer paßt, der erste Auftrag und das Fertigungsobjekt ausgewählt. Anschließend wird das Fertigungsobjekt dem Sortierpuffer entnommen.

Sind nicht genügend freie Plätze verfügbar oder wurde kein zum ersten Auftrag passendes Fertigungsobjekt gefunden, so  
20 wird gemäß der Ausgestaltung nach Anspruch 7 der Auftrag nicht ausgewählt, sondern zurückgestellt. Für das Zurückstellen von Aufträgen wird ein zunächst leerer elektronischer Zwischenspeicher für Aufträge erzeugt. Der erste Auftrag wird dann, wenn das passende Fertigungsobjekt sich nicht auf den  
25 ersten Platz vorziehen läßt, in diesen Zwischenspeicher eingestellt.

Aufträge, die in den Zwischenspeicher zurückgestellt wurden, sind in späteren Auswahlvorgängen auswählbar, z. B. wenn zum Vorziehen eines passenden Fertigungsobjekts weniger nicht  
30 passende Fertigungsobjekte vorgezogen werden müssen oder wenn im Sortierpuffer mehr freie Plätze verfügbar sind. Dadurch können die Aufträge noch bearbeitet werden, wenn auch mit Verzögerung, was besser ist, als wenn sie storniert werden würden.



Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, daß vorrangig für einen Auftrag, der durch Einstellen in den Zwischenspeicher zurückgestellt wurde, ein passendes Fertigungsobjekt gesucht wird. Dadurch wird erreicht, daß Aufträge nur so kurz wie nötig zurückgestellt werden und nur möglichst wenige Auswahlvorgänge lang im Zwischenspeicher verbleiben. Gemäß Anspruch 8 wird zunächst geprüft, ob ein Auftrag im Zwischenspeicher zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer paßt. Ist dies der Fall, werden Auftrag und Fertigungsobjekt ausgewählt. Der Auftrag wird aus dem Zwischenspeicher und das Fertigungsobjekt aus dem Sortierpuffer entfernt. Paßt kein Fertigungsobjekt im Sortierpuffer zu einem Auftrag im Zwischenspeicher, so werden ein Auftrag im Zwischenspeicher und ein passendes Fertigungsobjekt in der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt. Ist das passende Fertigungsobjekt nicht das erste der Abfolge, so wird das passende Fertigungsobjekt mit Hilfe des Sortierpuffers auf den ersten Platz vorgezogen. Der Auftrag wird aus dem Zwischenspeicher entfernt. Die Auswahl und das Vorziehen werden nur dann durchgeführt, wenn im Sortierpuffer noch genügend freie Plätze verfügbar sind. Ansonsten wird der Auftrag im Zwischenspeicher nicht ausgewählt.

Mehrere Ausgestaltungen der Ausführungsform nach Anspruch 8 legen für den Fall, daß sich mehrere Aufträge im Zwischenspeicher befinden, fest, ob und wenn ja wie einer von diesen ausgewählt wird. Falls der Sortierpuffer eine Höchstanzahl verfügbarer Plätze besitzt, wird nach einem Auftrag gesucht, der zu einem Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt, das auf den ersten Platz vorgezogen werden kann. Falls es mehrere solche Aufträge im Zwischenspeicher gibt, wird z. B. der mit der längsten Verweildauer ausgewählt - oder derjenige, dessen Auswahl am wenigsten Einstellvorgänge in den Sortierpuffer erfordert. Gemäß der Ausgestaltung nach Anspruch 9 ist eine Höchstanzahl von Auswahlvorgängen vorgegeben - beispielsweise aufgrund einer Anforderung an die maximal zulässige Verzögerung der Erfüllung eines Auftrags. Ein Auftrag im Zwischenspeicher wird dann ausgewählt, wenn die

Anzahl von Auswahlvorgängen, die dieser Auftrag im Zwischenspeicher verweilt, die vorgegebene Höchstanzahl erreicht oder übersteigt. In diesem Fall wird der Auftrag auch dann ausgewählt, wenn ein anderer Auftrag im Zwischenspeicher zu einem  
5 Fertigungsobjekt im Sortierpuffer paßt oder weniger Einstellungsvorgänge in den Sortierpuffer erfordert.

Die bislang beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens sehen vor, daß ein Auftrag dann in den Zwischenspeicher eingestellt wird, wenn nicht genügend freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind, um ein passendes Fertigungsobjekt der  
10 Fertigungsobjekt-Abfolge auf den ersten Platz vorzuziehen. Ansonsten werden der erste Auftrag und ein passendes Fertigungsobjekt ausgewählt. Die Ausgestaltung nach Anspruch 10 berücksichtigt die Tatsache, daß das Einstellen eines Fertigungsobjekts in den Sortierpuffer teurer ist und mehr Zeit  
15 erfordert als das Einstellen eines Auftrags in den elektronischen Zwischenspeicher. Gemäß Anspruch 10 wird daher der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge bereits dann in den Zwischenspeicher eingestellt, wenn der erste Auftrag weder zu einem  
20 Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt. Daraufhin wird der zweite Auftrag mit den Fertigungsobjekten im Sortierpuffer und dem ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge verglichen und so fort.

25 Sichergestellt wird, daß ein Auftrag nicht beliebig lange im Zwischenspeicher verbleibt. Daher werden bei einem Auswahlvorgang zunächst die Aufträge im Zwischenspeicher mit den Fertigungsobjekten im Sortierpuffer und in der Fertigungsobjekt-Abfolge verglichen. Für jeden Auftrag im Zwischenspeicher wird weiterhin gezählt, wie viele Auswahlvorgänge der  
30 Auftrag bereits im Zwischenspeicher verblieben ist. Vorzugsweise wird als erstes für den Auftrag mit der größten Verweilanzahl ein passendes Fertigungsobjekt gesucht. Wenn die Verweilanzahl eines Auftrags im Zwischenspeicher eine vorgegebene maximale Anzahl erreicht hat, werden dieser Auftrag  
35 und ein passendes Fertigungsobjekt auf jeden Fall ausgewählt

- vorausgesetzt ein passendes Fertigungsobjekt befindet sich im Sortierpuffer oder läßt sich auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorziehen.

5 Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, die Dimensionierung des Sortierpuffers vorab durch Simulationen zu ermitteln. Verschiedene mögliche Werte für die Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers für Fertigungsobjekte sind gemäß Anspruch 17 vorgegeben. Falls durch Simulationen zusätzlich ermittelt werden soll, welche Auswirkungen ein Sortierpuffer überhaupt hat, wird als einer der  
10 möglichen Werte der Wert 0 für die Simulationen vorgegeben. In den Simulationen wird für jeden möglichen Wert ermittelt, welche Auswirkungen ein Sortierpuffer mit diesem Wert als Höchstanzahl verfügbarer Plätze auf eine Referenz-Abfolge von  
15 Aufträgen und Fertigungsobjekte gehabt hätte.

In einer ersten Phase wird eine Referenz-Abfolge von in elektronischer Form vorliegenden Referenz-Aufträgen für Referenz-Produkte, die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, erzeugt. Weiterhin wird in der ersten Phase gemäß der Referenz-  
20 Auftrags-Abfolge im ersten Teilprozeß eine Abfolge von Referenz-Fertigungsobjekten gefertigt. Protokolliert wird, in welcher Reihenfolge die Fertigungsobjekte den ersten Teilprozeß verlassen. Dadurch wird ein Abbild der Referenz-Fertigungsobjekte-Abfolge erzeugt. Weiterhin werden diejenigen  
25 Merkmale von Referenz-Aufträgen und von Referenz-Fertigungsobjekten protokolliert, die zur Auswahl von Referenz-Aufträgen und Referenz-Fertigungsobjekten für den zweiten Teilprozeß verwendet werden. Diese Protokollierung der Merkmale wird durchgeführt, weil die Auswahlvorgänge für den  
30 zweiten Teilprozeß in der Simulation und mit Hilfe eines simulierten Sortierpuffers durchgeführt werden und für diese Simulationen die protokollierten Merkmale verwendet werden.

In der ersten Phase braucht noch kein Sortierpuffer vorhanden zu sein. Die tatsächliche Abfolge der Auswahlvorgänge von Referenz-Aufträgen und Referenz-Fertigungsobjekten in der ersten Phase braucht ebenfalls nicht protokolliert zu werden,  
35

weil diese tatsächliche Abfolge nicht für die Simulation verwendet wird.

In der zweiten Phase werden die Simulationen durchgeführt, um die Anzahl der verfügbaren Plätze im Sortierpuffer zu bestimmen. Ein elektronisches Abbild der protokollierten Referenz-Fertigungsobjekt-Abfolge wird erzeugt. Weiterhin wird ein Modell des Sortierpuffers erzeugt. Für jeden der möglichen Werte wird eine Simulation durchgeführt. Hierbei wird die Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffer-Modells auf den Wert eingestellt. Eine Simulation aller Auswahlvorgänge für den zweiten Teilprozeß unter Verwendung der Referenz-Auftrags-Abfolge, des Abbildes, des Sortierpuffer-Modells und des Zwischenspeichers wird durchgeführt. In der Simulation wird dann, wenn der erste Referenz-Auftrag der Referenz-Auftrags-Abfolge zu keinem Referenz-Fertigungsobjekt im Sortierpuffer-Modell paßt, geprüft, ob für alle Abbilder von Referenz-Fertigungsobjekten, die im Abbild der Referenz-Fertigungsobjekt-Abfolge vor einem zum ersten Referenz-Auftrag passenden Referenz-Fertigungsobjekt-Abbild angeordnet sind, freie Plätze im Sortierpuffer-Modell verfügbar sind. Wenn genügend freie Plätze vorhanden sind, werden der erste Referenz-Auftrag und das zum Referenz-Auftrag passende Referenz-Fertigungsobjekt-Abbild ausgewählt. Alle Referenz-Fertigungsobjekt-Abbilder, die im Abbild der Referenz-Fertigungsobjekt-Abfolge vor dem ausgewählten Referenz-Fertigungsobjekt-Abbild angeordnet sind, werden in das Modell des Sortierpuffers eingestellt. In der Simulation ist ein Referenz-Fertigungsobjekt-Abbild dann und nur dann in das Modell einstellbar, wenn das Modell noch einen freien Platz umfaßt.

In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Simulationen wird einer der möglichen Werte ausgewählt. Als realer Sortierpuffer wird für die Auswahlvorgänge der aktuellen Auftrags-Abfolge ein Sortierpuffer mit dem ausgewählten Wert als Höchstanzahl verfügbarer Plätze verwendet.

Simulationen sind wesentlich preisgünstiger und lassen sich schneller durchführen als Versuche mit realen Fertigungsobjekten. Dadurch, daß vorab Simulationen durchgeführt werden, wird ein geeignet dimensionierter Sortierpuffer verwendet.

5 Vermieden wird, daß ein zu kleiner Sortierpuffer vorgesehen wird, was dazu führen kann, daß viele Aufträge zurückgestellt werden müssen. Ein Sortierpuffer, der größer als erforderlich ist, verbraucht hingegen oft zu viel Kapital und Platz. Das Verfahren nach Anspruch 17 zeigt eine objektive und nachvoll-  
10 ziehbare Vorgehensweise auf, den Sortierpuffer zu dimensionieren.

Die Simulationen werden auf der Basis der in der ersten Phase protokollierten Abfolgen durchgeführt. Diese Protokolle sind oft ohnehin vorhanden. Für die Simulationen wird kein Modell  
15 des Fertigungsprozesses oder des ersten Teilprozesses benötigt. Die Aufstellung eines solchen Modells ist zeitaufwendig und fehlerträchtig, weswegen es von Vorteil ist, daß kein solches Modell benötigt wird.

Vorzugsweise wird durch die Simulationen ermittelt, welche  
20 Auswirkungen auf die Positionstreue ein Sortierpuffer mit einer bestimmten Höchstanzahl verfügbarer Plätze hat. Ein Auftrag erreicht positionstreu den zweiten Teilprozeß, wenn er dann ausgewählt wird, wenn er auf den ersten Platz der Auswahl-Abfolge vorgerückt ist. Er erreicht den zweiten Teilprozeß  
25 zu spät, wenn er zurückgestellt und in den Zwischenspeicher eingestellt werden muß, weil das erste Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge nicht paßt und es nicht möglich ist, ein passendes Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorzuziehen. Ein Auftrag erreicht den zweiten Teilprozeß zu  
30 früh, wenn er ausgewählt wird, obwohl er noch nicht der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge ist. Dies kann nur passieren, wenn ein anderer Auftrag zurückgestellt und in den Zwischenspeicher eingestellt wurde. Daher wird bevorzugt der Positionstreue-Grad, das ist der Anteil positionstreuer Aufträge an  
35 der gesamten Menge von Aufträgen der Auftrags-Abfolge, als quantifizierbares und meßbares Maß für die Auswirkungen eines

Sortierpuffers mit einer bestimmten Höchstanzahl verfügbarer Plätze verwendet. Offensichtlich wird der Positionstreue-Grad um so größer, je größer die Höchstanzahl verfügbare Plätze des Sortierpuffers ist. Denn je mehr freie Plätze der Sortierpuffer hat, desto weniger Aufträge müssen zurückgestellt werden, weil mangels freier Plätze kein passendes Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorgezogen werden kann. In den Simulationen wird daher bevorzugt Positionstreue-Grad für die Referenz-Abfolge bestimmt.

10 Eine Ausgestaltung sieht vor, daß eine Positionstreue-Funktion ermittelt wird. Diese Funktion gibt für jede mögliche Anzahl verfügbarer Plätze den dann erreichten Positionstreue-Grad an. Die Funktion ist monoton steigend, denn je mehr Plätze verfügbar sind, desto größer ist die erreichte  
15 Positionstreue. Ermittelt werden kann, wann eine Erhöhung der Höchstanzahl verfügbarer Plätze noch eine bedeutende Auswirkung auf den Positionstreue-Grad hat und wann nicht.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beiliegenden Zeichnung näher beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1. die Reihenfolge von acht Gewerken eines Fertigungsprozesses zur Herstellung von Kraftfahrzeugen;

25 Fig. 2. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem ersten Auswahlvorgang;

Fig. 3. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem zweiten Auswahlvorgang;

30

Fig. 4. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem fünften Auswahlvorgang;

Fig. 5. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem achten Auswahlvorgang;

5 Fig. 6. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem zehnten Auswahlvorgang;

Fig. 7. die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem dreizehnten Auswahlvorgang;;

10 Fig. 8. ein Histogramm für die Verteilung der Relativpositionen der Aufträge;

15 Fig. 9. ein Histogramm für die Verteilung der Relativpositionen der Aufträge, falls kein Sortierpuffer verwendet wird, und das Histogramm aus Fig. 8;

Fig. 10. die Reihenfolge-Güte als Funktion der Anzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers;

20 Fig. 11. der maximale Nachgriff als Funktion der Anzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers.

Das im folgenden beschriebene Ausführungsbeispiel der Erfindung bezieht sich auf einen Fertigungsprozeß zur Herstellung von Kraftfahrzeugen. Dieser Fertigungsprozeß umfaßt folgende  
25 zehn Gewerke, die ein Fertigungsobjekt nacheinander durchläuft, damit aus ihm ein Kraftfahrzeug hergestellt wird:

- Fahrzeug-Einplanung,
- Vorlauf-Logistik 100.1: der erforderliche Vorlauf für die  
30 Produktion, z. B. um Lieferanten zu informieren und/oder zu beauftragen,

- Rohbau 100.2,
- Oberfläche 100.3, insbes. Lackierung,
- Produktions-Logistik 100.4, durch die insbesondere Zeiten für
- 5     - Transporte innerhalb der Fertigungsstätte,
- unterschiedliche Arbeitszeiten der „Gewerke“
- und Zusammenstellen der Produkte in der Reihenfolge, in der nachfolgende Teilprozesse diese benötigen,
- berücksichtigt werden,
- 10    - Inneneinbau 100.5 als Teilprozeß, der alle Montagen in das Innere des Autos zusammenfaßt, z. B. Cockpit, Sitze, Verkleidungen,
- Fahrwerk 100.6 als Teilprozeß, der alle Montagen von unten zusammenfaßt, z. B. Motor, Triebstrang, Achsen, Räder, Kabel,
- 15    - Einfahren 100.7 einschließlich Einstellungen z. B. an Beleuchtung, Bremsen, Fahrwerk
- Wagen-Fertigstellung 100.8 einschließlich erforderlicher Nacharbeiten, und
- 20    - Schlußabnahme.

Fahrzeug-Einplanung und Schlußabnahme erfordern keine Durchlaufzeiten, so daß sie im folgenden nicht berücksichtigt werden. In welcher Reihenfolge die Fertigungsobjekte die übrigen acht Gewerke des Fertigungsprozesses durchlaufen, zeigt

25 Fig. 1.

Jedes Gewerk umfaßt einen oder mehrere Teilprozesse. Die Teilprozesse werden so voneinander abgegrenzt, daß keine Teilprozesse parallel oder alternativ ausgeführt werden. Vielmehr werden die Teilprozesse so definiert, daß Verzweigungen nur innerhalb eines Teilprozesses auftreten. Bei-

30 spielsweise umfaßt der Teilprozeß 100.3 („Oberfläche“) die beiden Arbeitsschritte 110.1 („Grundlackierung“) und 110.2



(„Decklackierung“). Im Arbeitsschritt 110.1 werden beispielsweise eine Kathodische Tauchlackierung der vom Rohbau fertiggestellten Fertigungsobjekte durchgeführt und anschließend ein Grundlack („Füller“) aufgetragen. Anschließend wird im  
5 Arbeitsschritt 110.2 der Decklack aufgetragen, der die Farbe des Kraftfahrzeugs bestimmt, und anschließend Klarlack ergänzt. In Abhängigkeit von der vorgegebenen Farbe werden der Decklack und davon abhängig der Grundlack ausgewählt.

10 Erfindungsgemäß durchläuft eine Abfolge 70 von Fertigungsobjekten 20.1, 20.2, ... diesen Fertigungsprozeß von Anfang bis Ende. Am Anfang existiert das Fertigungsobjekt nur „auf dem Papier“, am Ende des Fertigungsprozesses ist ein fertiges Kraftfahrzeug entstanden. Parallel hierzu durchläuft eine Abfolge 50 von Aufträgen 10.1, 10.2, ... denselben Fertigungsprozeß. In diesem Beispiel bezieht sich jeder Auftrag  
15 auf ein Kraftfahrzeug. Dieses Kraftfahrzeug wird auftragsspezifisch gefertigt, also so, daß es die im Auftrag spezifizierten Anforderungen des Kunden erfüllt. Typischerweise beginnt das Fertigungsobjekt den Durchlauf durch den Fertigungsprozeß erst dann, wenn der Auftrag vorliegt. Vorzugsweise wird jedes Kraftfahrzeug aufgrund eines Auftrags gefertigt. Jeder Auftrag bezieht sich auf ein baubares Kraftfahrzeug, und die Ausführung jedes Auftrags wird nach Entgegennahme des Auftrags zumindest begonnen. Damit durchlaufen  
20 genauso viele Aufträge wie Fertigungsobjekte den Fertigungsprozeß.

Vorzugsweise werden zusätzliche fiktive Aufträge erzeugt, die sich auf ein unfertiges Kraftfahrzeug beziehen. Aufgrund eines solchen fiktiven Auftrags wird beispielsweise ein Fertigungsobjekt erzeugt, das für eine Prüfung oder Erprobung während der Fertigung vorsätzlich zerstört wird.  
30

Bevorzugt werden die Kraftfahrzeuge im Fertigungsprozeß in Taktfertigung hergestellt. Eine Soll-Taktzeit  $T$  ist für den gesamten Fertigungsprozeß vorgegeben. Zwei aufeinanderfolgende Fertigungsobjekte der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 werden  
35 im zeitlichen Abstand  $T$  einem Teilprozeß zugeführt.

Der Auftrag liegt in elektronischer Form vor und umfaßt z. B. folgende Festlegungen für ein Kraftfahrzeug als auftragsspezifisch zu fertigendes Produkt:

- die Baureihe,
- 5 - eine Aufbauart, z. B. Limousine oder Coupe,
- Linkslenker oder Rechtslenker,
- Farbe der Lackierung
- Art der Lackierung (z. B. Metallic-Lackierung),
- eine Motor-Variante,
- 10 - Allrad- oder Einachsantrieb,
- geschlossenes Dach oder Schiebedach,
- mit oder ohne Durchlademöglichkeit im Fahrzeuginneren,
- mit oder ohne Anhängerkupplung,
- gewünschte Sonderausstattungen für den Inneneinbau, z. B.
- 15 bestimmte Leder oder Stoffe oder eine elektronische Navigationshilfe,
- gewünschte Sonderausstattungen für Fahrwerk einschließlich Antriebstrang, z. B. Kraftstoffanlage, Felgen,
- elektronische Hilfssysteme, z. B. Fensterheber oder elekt-
- 20 ronischer Bremsassistent,
- und ein vereinbarter Auslieferungstermin und ein davon abgeleiteter Schlußabnahmetermin.

Die Aufträge der Auftrags-Abfolge werden durch Datensätze einer Datenbank beschrieben. Ein Datensatz für einen Auftrag

25 wird angelegt, sobald der Auftrag eingegangen ist. Der Datensatz verbleibt solange in der Datenbank, bis ein Kraftfahrzeug gemäß des Auftrags fertiggestellt und eine Rechnung ausgestellt und bezahlt wurde. Die Fertigungsobjekt-Abfolge wird durch eine weitere Menge von Datensätzen in der Datenbank be-

30 schrieben. Der Datensatz eines Fertigungsobjekts umfaßt die bislang gefertigten Merkmals-Ausprägungen des Fertigungsobjekts. Nachdem ein Fertigungsobjekt den Teilprozeß 100.3

durchlaufen hat, sind im Datensatz u. a. folgende Informationen über das Fertigungsobjekt enthalten:

- Farbe der Grundlackierung,
- Farbe der Decklackierung,
- 5 - Art der Decklackierung.

Vom Schlußabnahmetermine jedes Auftrags werden einerseits der Produktionsbeginn für diesen Auftrag, andererseits die Liefertermine für die zugelieferten Teilsysteme abgeleitet. Hierfür wird ausgehend vom Schlußabnahmetermine in Abhängigkeit von erreichbaren Durchlaufzeiten durch Teilprozesse und verfügbaren Ressourcen rückwärts gerechnet.

Im Fertigungsprozeß ist ein sogenannter Taufpunkt 300 definiert. Dieser Taufpunkt 300 ist der Punkt, an dem die Auftrags-Abfolge 50 und die Fertigungsobjekt-Abfolge 70 verbindlich einander zugeordnet werden. Ab diesem Punkt ist also jedem Fertigungsobjekt der Abfolge 70 ein Auftrag fest zugeordnet. Der Taufpunkt 300 wird so in den Fertigungsprozeß gelegt, daß er einerseits möglichst weit hinten im Fertigungsprozeß auftritt, andererseits viele Teilprozesse, in denen variantenreiche und oft von Auftrag zu Auftrag variierende Teilsysteme in das Fertigungsobjekt eingebaut werden, erst nach dem Taufpunkt kommen. In diesem Beispiel ist der Taufpunkt unmittelbar vor den Inneneinbau gelegt. Am Taufpunkt wird bei Bedarf die Auftrags-Reihenfolge verändert, wenn das erste Fertigungsobjekt und der erste Auftrag nicht zueinander passen.

Die Lieferanten, die Teilsysteme liefern, welche in Teilprozessen nach dem Taufpunkt 300 eingebaut werden, werden auf Basis der Auftrags-Abfolge 50 beauftragt. Ein Lieferant kann ein externer Lieferant, also ein rechtlich selbständiges Unternehmen, oder ein interner Lieferant, also ein Bereich des Kraftfahrzeug-Herstellers, sein. Die erfindungsgemäße Produktionssteuerung unterscheidet nicht zwischen internen und externen Lieferanten. Manche Teilsysteme werden für die Fertigung von auftragsspezifischen benötigt, ohne in ein Ferti-

gungsobjekt eingebaut zu werden, z. B. Gußformen für Zylinderköpfe.

Aus jedem Auftrag der Auftrags-Abfolge 50 werden mit Hilfe einer Stückliste des Kraftfahrzeuges Aufträge für Lieferanten abgeleitet. Möglich ist, daß für ein Kraftfahrzeug mehrere Exemplare des Teilsystems zu fertigen sind, z. B. vier Sitze pro Kraftfahrzeug. Dadurch entsteht für jeden Lieferanten eine Lieferauftrags-Abfolge.

Der Taufpunkt 300 wird so weit hinten wie möglich im Fertigungsprozeß angeordnet. Dadurch erhalten die Lieferanten eine möglichst lange Vorlaufzeit, nämlich die zwischen dem Eintritt des Fertigungsobjekts in den ersten Teilprozeß 100.1 des Fertigungsprozesses und dem Erreichen des Taufpunktes 300. Bevorzugt wird der Taufpunkt 300 vor dem Teilprozeß 100.5 („Gewerk Inneneinbau“) gelegt. Die für den Inneneinbau hergestellten Teilsysteme, z. B. Kabelbäume, Cockpit und Sitze, sind in ihrer Gesamtheit so auftragsspezifisch, daß sie sich in der Regel nur für ein einziges Fertigungsobjekt verwenden lassen.

Jeweils ein Auswahlpunkt, dessen Funktion im folgenden beschrieben wird, befindet sich vor folgenden Teilprozessen:

- der Auswahlpunkt 200.2 vor dem Teilprozeß 100.2 (Gewerk Rohbau),
- der Auswahlpunkt 200.3 vor dem Teilprozeß 100.3 (Gewerk Oberfläche) und
- der Taufpunkt 300 als Auswahlpunkt vor dem Teilprozeß 100.5 (Gewerk Inneneinbau).

In den Auswahlpunkten, in denen physikalische Fertigungsobjekte ausgewählt werden, ist ein Sortierpuffer mit Plätzen für Fertigungsobjekte vorhanden. Im Beispiel der Fig. 1 sind der Auswahlpunkt 200.3 mit dem Sortierpuffer 500.3 und der Taufpunkt 300 mit dem Sortierpuffer 500.5 vorgesehen. Der Teilprozeß 100.1 liefert noch keine physikalischen Fertigungsobjekte, daher ist kein Sortierpuffer erforderlich. Je-

der dieser Sortierpuffer erlaubt vorzugsweise einen wahlfreien Zugriff auf jedes in ihm eingestellte Fertigungsobjekt.

Vorzugsweise ist mindestens ein zusätzlicher Sortierpuffer für Teilsysteme vorgesehen, die aufgrund der Auftrags-Abfolge hergestellt in nach dem Taupunkt 300 eingebaut werden. Ein solches Teilsystem wird in einen Sortierpuffer für Teilsysteme eingestellt, wenn das Fertigungsobjekt, in welches das Teilsystem eingebaut werden soll, später als geplant den Einbauort erreicht. In Fig. 1 ist ein Sortierpuffer 500.6 für Teilsysteme, die im Teilprozeß 100.5 eingebaut werden, dargestellt.

In jedem dieser Auswahlpunkte wird wiederholt ein Auswahlvorgang durchgeführt, bei dem jeweils ein Auftrag der Auftrags-Abfolge und ein Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge oder im Sortierpuffer, die zueinander passen, ausgewählt werden. Bei diesem Vergleich werden vorzugsweise Merkmale eines Auftrags mit solchen Merkmalen eines Fertigungsobjekts miteinander verglichen, die im nachfolgenden Teilprozeß erzeugt oder verändert werden, und nicht mit denen, die im Teilprozeß unverändert bleiben. Das ausgewählte Fertigungsobjekt wird dem jeweils nachfolgenden Teilprozeß zugeführt und dort gemäß des ausgewählten Auftrags bearbeitet.

Der Vergleich eines Auftrags mit einem Fertigungsobjekt erfolgt dadurch, daß der Datensatz für den Auftrag mit dem Datensatz für das Fertigungsobjekt verglichen wird. Dieser Vergleich wird vorzugsweise vollautomatisch ohne Zutun eines Menschen durchgeführt.

Die Auswahlvorgänge werden in der bevorzugten Ausführungsform von einem industrietauglichen Produktionsleitreechner ausgeführt. Dieser Produktionsleitreechner ist redundant ausgelegt und besitzt daher eine hohe Verfügbarkeit. Der Produktionsleitreechner hat Lese- und Schreibzugriff auf die Datenbank mit den Datensätzen für Aufträge und für Fertigungsobjekte.

Wie oben beschrieben, werden in jedem Auswahlpunkt bei jedem Auswahlvorgang ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag, die zu-

einander passen, ausgewählt. Vorzugsweise ist jedem der Teilprozesse mit vorgelagertem Auswahlpunkt je eine Auswahl-Teilmenge von solchen Merkmalen zugeordnet, die in vorigen Teilprozessen hergestellt wurden. Ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag werden dann als zueinander passend gewertet, wenn jedes Produkt-Merkmal des Auftrags, das der Auswahl-Teilmenge angehört, vereinbar mit allen Merkmalen des Fertigungsobjekts ist.

Vorzugsweise umfaßt jede Auswahl-Teilmenge als ein Merkmal den vom Teilprozeß geforderten Fertigstellungs-Termin, also der Termin, an dem ein zum Auftrag passendes Fertigungsobjekt spätestens im Teilprozeß gemäß des Auftrags bearbeitet und den Teilprozeß verlassen haben muß.

Weiterhin ist jedem Teilprozeß eine Bearbeitungs-Teilmenge zugeordnet. Die Merkmale der Bearbeitungs-Teilmenge eines Teilprozesses 100.x werden im Teilprozeß 100.x bearbeitet. Mit Hilfe der Merkmale eines ausgewählten Auftrags und den Merkmalen der Bearbeitungs-Teilmenge wird ein Bearbeitungsauftrag an den Teilprozeß abgeleitet. Das Fertigungsobjekt wird im Teilprozeß gemäß des Bearbeitungsauftrags abgeleitet.

Beispielsweise ist dem Teilprozeß 100.2 (Gewerk Rohbau) eine Auswahl-Teilmenge mit folgenden Merkmalen zugeordnet:

- Baureihe,
- Aufbauart.

Die Bearbeitungs-Teilmenge des Teilprozesses 100.2 umfaßt z. B. folgende Merkmale:

- Baureihe,
- Aufbauart,
- Linkslenker oder Rechtslenker,
- geschlossenes Dach oder Schiebedach,
- mit oder ohne Anhängerkupplung.

Merkmale, die im Teilprozeß 100.2 noch keine Rolle spielen, sondern erst in nachfolgenden Teilprozessen, sind weder in

der Auswahl-Teilmenge noch in der Bearbeitungs-Teilmenge des Teilprozesses 100.2 enthalten, z. B. die Farbe und Art der Lackierung oder die Motor-Variante.

5 Im Auswahlpunkt 200.2 wird ein Fertigungsobjekt einer bestimmten Baureihe und einer bestimmten Aufbauart für den Teilprozeß 100.2 ausgewählt. Als Bearbeitungsauftrag wird die Herstellung eines Fertigungsobjekts dieser Baureihe und dieser Aufbauart mit den Merkmalen „Linkslenker“ und „Schiebedach“ hergeleitet.

10 Die Auswahl-Teilmenge des Teilprozesses 100.3 (Gewerk Oberfläche) umfaßt z. B. folgende Merkmale:

- Baureihe,
- Aufbauart,
- Linkslenker oder Rechtslenker,
- 15 - geschlossenes Dach oder Schiebedach,
- mit oder ohne Anhängerkupplung.

Die Bearbeitungs-Teilmenge des Teilprozesses 100.3 umfaßt z. B. folgende Merkmale:

- Baureihe,
- 20 - Aufbauart,
- Farbe der Grundlackierung,
- Farbe der Decklackierung,
- Art der Decklackierung.

25 Im Auswahlpunkt 200.3 wird z. B. ein Fertigungsobjekt einer bestimmten Baureihe und einer bestimmten Aufbauart mit den Merkmalen „Linkslenker“ und „Schiebedach“ für den Teilprozeß 100.5 und einem Soll-Schlußabnahmetermin ausgewählt. Als Bearbeitungsauftrag für den Teilprozeß 100.5 wird die Lackierung dieses Fertigungsobjekts in einer bestimmten Farbe und  
30 Art der Lackierung hergeleitet.

Die Auswahl-Teilmenge des Teilprozesses 100.5 (Gewerk Inneneinbau) besteht z. B. aus folgenden Merkmalen:

- Baureihe,
- Aufbauart,
- Linkslenker oder Rechtslenker,
- geschlossenes Dach oder Schiebedach.

- 5
- Farbe der Grundlackierung,
  - Farbe der Decklackierung,
  - Art der Decklackierung.

Die Bearbeitungs-Teilmenge des Teilprozesses 100.5 (Gewerk Inneneinbau) umfaßt z. B. folgende Merkmale:

- 10
- Baureihe,
  - Aufbauart,
  - Linkslenker oder Rechtslenker,
  - geschlossenes Dach oder Schiebedach.
  - mit oder ohne Durchlademöglichkeit im Fahrzeuginneren,
  - 15 - mit oder ohne Anhängerkupplung,
  - gewünschte Sonderausstattungen für den Inneneinbau.

Auch für den Teilprozeß 100.6 (Gewerk Fahrwerk) ist eine Bearbeitungs-Teilmenge vorgegeben. Eine Auswahl-Teilmenge ist nicht erforderlich, weil im Taupunkt 300 ein Auftrag einem

20 Fertigungsobjekt fest zugeordnet wird.

Bei einem Auswahlvorgang wird zunächst unter den Fertigungsobjekten im Sortierpuffer nach einem Fertigungsobjekt gesucht, das zum ersten Auftrag der Auftrags-Abfolge paßt. Wird ein passendes gefunden, so werden das passende Fertigungsobjekt und der erste Auftrag ausgewählt. Das ausgewählte Fertigungsobjekt wird dem Sortierpuffer entnommen und dem ersten

25 Teilprozeß zugeführt.

Falls im Sortierpuffer kein Fertigungsobjekt gefunden wird, das zum ersten Auftrag der Auftrags-Abfolge paßt, so wird der

30 erste Auftrag nacheinander mit den Fertigungsobjekten in der Fertigungsobjekt-Abfolge verglichen, und zwar beginnend mit



dem ersten Fertigungsobjekt. Geprüft wird, ob für alle Fertigungsobjekte, die in der Fertigungsobjekt-Abfolge vor einem zum ersten Auftrag passenden Fertigungsobjekt angeordnet sind, noch freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind.

- 5 Falls der Sortierpuffer über insgesamt  $N$  Plätze verfügt und  $N_1$  dieser Plätze bereits durch Fertigungsobjekte belegt sind und falls sich vor dem ersten passenden Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge  $N_2$  nicht passende Fertigungsobjekte befinden, so wird geprüft, ob  $N \geq N_1 + N_2$  gilt. Ist diese
- 10 Bedingung erfüllt, so werden die  $N_2$  nicht passenden Fertigungsobjekte in den Sortierpuffer eingestellt, und das erste passende Fertigungsobjekt und der erste Auftrag werden ausgewählt.

- Falls hingegen  $N < N_1 + N_2$  gilt, so ist es nicht möglich,
- 15 nur mit Hilfe des Sortierpuffers ein zum ersten Auftrag passendes Fertigungsobjekt vorzuziehen und dem jeweils nachfolgenden Teilprozeß zuzuführen. Für diese Fälle ist in jedem Auswahlpunkt ein elektronischer Zwischenspeicher für Aufträge vorgesehen. Im Beispiel der Fig. 1 sind dies die Zwischen-
- 20 speicher 400.2 im Auswahlpunkt 200.2, 400.3 im Auswahlpunkt 200.3 und 400.5 im Taufpunkt 300. Der erste Auftrag wird dann aus der Auftrags-Abfolge entfernt und in den jeweiligen Zwischenspeicher eingestellt, wenn es nicht möglich ist, mit Hilfe des Sortierpuffers ein zum ersten Auftrag passendes
- 25 Fertigungsobjekt vorzuziehen.

- Vorzugsweise wird sichergestellt, daß ein Auftrag nicht länger als eine vorgegebene maximale Verweildauer in einem solchen Zwischenspeicher verweilt. Daher werden bei einem Auswahlvorgang dann, wenn die bisherige Verweildauer mindestens
- 30 eines Auftrags im Zwischenspeicher größer oder gleich einer vorgegebenen Verweildauer-Schranke ist, folgende Schritte durchgeführt:

- Der Auftrag mit der größten Verweildauer im Zwischenspeicher und ein zu ihm passendes Fertigungsobjekt aus der
- 35 Fertigungsobjekt-Abfolge werden ausgewählt.

- Der ausgewählte Auftrag wird aus dem Zwischenspeicher entfernt.
- Das ausgewählte Fertigungsobjekt wird auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorgezogen.

5 Vor diesem Taufpunkt 300 wird ein Auftrag nur temporär für z.  
B. jeweils dem nachfolgenden Teilprozeß einem Fertigungsobjekt zugeordnet, und ein Auftrag kann in einem Teilprozeß einem Fertigungsobjekt und in einem nachfolgenden Teilprozeß einem anderen Fertigungsobjekt zugeordnet werden. In den Auswahlpunkten vor dem Taufpunkt 300, im Beispiel der Fig. 1 also in den Auswahlpunkten 200.2 und 200.3, wird eine Kopie der Auftrags-Abfolge gebildet. Die Auswahlvorgänge werden für die Aufträge in dieser Kopie anstelle für die Aufträge in der Original-Auftrags-Abfolge durchgeführt. Die Original-Auftrags-  
10 Abfolge bleibt unverändert. Falls kein zum ersten Auftrag der Kopie passendes Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge auf den ersten Platz vorgezogen werden kann, wird die Kopie in den Zwischenspeicher eingestellt und bei Erreichen der oben beschriebenen Verweildauer-Schranke wieder aus dem Zwischenspeicher entfernt.  
15  
20

Bevorzugt umfaßt ein Sortierpuffer für Fertigungsobjekte N Teil-Sortierpuffer TP<sub>1</sub>, ... , TP<sub>N</sub>. Unabhängig vom Füllstand und der Auslastung der anderen Teil-Sortierpuffer läßt sich ein Fertigungsobjekt in einen ausgewählten Teil-Sortierpuffer  
25 einstellen. Vorzugsweise haben alle Teil-Sortierpuffer gleich viele Plätze für Fertigungsobjekte. Jeder Teil-Sortierpuffer ist als Gasse ausgebildet. Zwischen diesen Gassen verkehrt eine Verteileinrichtung in Form mindestens eines Querförderers, der ein Regalbediengerät mit einem darauf abgestellten  
30 Fertigungsobjekt umfaßt. Dieser Querförderer vermag ein einzustellendes Fertigungsobjekt aus der Fertigungsobjekt-Abfolge aufzunehmen und in die ausgewählte Gasse einzustellen. Weiterhin vermag er ein in eine Gasse eingestelltes Fertigungsobjekt der Gasse zu entnehmen und dem Teilprozeß zuzuführen.  
35

Mit Hilfe einer Bewertungsfunktion wird dann, wenn ein Fertigungsobjekt in den Sortierpuffer einzustellen ist und hierfür einer der Teil-Sortierpuffer auszuwählen ist, eine aktuelle Bewertung jedes Teil-Sortierpuffers bezüglich des Fertigungsobjekts berechnet. Diese Bewertungsfunktion bildet für jeden Teil-Sortierpuffer TP\_k eine gewichtete Zusammenfassung der n Einzel-Kriterien

10  $C_1(TP_k), \dots, C_n(TP_k)$  mit Hilfe von n vorgegebenen Gewichtungsfaktoren  $\omega_1, \dots, \omega_n$ , wobei  $\omega_1 + \dots + \omega_n = 1$  gilt. Die Bewertung  $Bew(TP_k)$  wird gemäß der Rechenvorschrift

$$Bew(TP_k) = \omega_1 * C_1(TP_k) + \dots + \omega_n * C_n(TP_k)$$

berechnet. Der hierbei am höchsten bewertete Teil-Sortierpuffer wird ausgewählt.

15 Eine alternative Ausführungsform besteht darin, zunächst die Teil-Sortierpuffer bezüglich jedes Einzel-Kriteriums in einer Reihenfolge anzuordnen, wobei die Teil-Sortierpuffer absteigend nach Bewertungen bezüglich dieses Einzel-Kriteriums sortiert werden. Insgesamt werden dadurch n Reihenfolgen erzeugt. Jeder Teil-Sortierpuffer erhält dadurch n Platzziffern

20 in diesen n Reihenfolgen. Der in einer Reihenfolge erste Teil-Sortierpuffer erhält die Platzziffer 1, der nachfolgende die Platzziffer 2 und so fort. Anschließend werden die n Platzziffern eines Teil-Sortierpuffers addiert. Derjenige Teil-Sortierpuffer wird ausgewählt, der die kleinste Summe

25 der Platzziffern erhält. Das Fertigungsobjekt wird in diesen ausgewählten Teil-Sortierpuffer eingestellt.

In die Bewertungsfunktion fließen folgende Einzel-Kriterien ein:

- 30 - der aktuelle Füllstand des Teil-Sortierpuffers TP\_k, das ist die aktuelle Gesamt-Anzahl der Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer TP\_k,
- die aktuelle Auslastung des Teil-Sortierpuffers TP\_k, das ist die aktuelle Anzahl derjenigen Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer, die in einem vorigen Auswahlvorgang

ausgewählt wurden, aber noch nicht aus dem Teil-Sortierpuffer entfernt wurden,

- die aktuelle Gesamt-Anzahl derjenigen Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer TP<sub>k</sub>, die sich durch jeweils mindestens ein Merkmal vom einzustellenden Fertigungsobjekt unterscheiden,
- und der Zeitaufwand, der erforderlich ist, um das einzustellende Fertigungsobjekt in den Teil-Sortierpuffer TP<sub>k</sub> einzustellen.

10 Ein Ziel bei der Auswahl eines Teil-Sortierpuffers ist das, daß sich in jeden Teil-Sortierpuffer und zu jedem Zeitpunkt möglichst viele Varianten von Fertigungsobjekten befinden. Je besser dieses Ziel erreicht ist, desto weniger wirkt sich ein Ausfall eines Teil-Sortierpuffers auf die Abarbeitung der  
15 Auftrags-Abfolge aus.

Bevorzugt wird bei der Auswahl eines Teil-Sortierpuffers zunächst ermittelt, welche Teil-Sortierpuffer aktuell leer sind, und unter diesen leeren wird einer ausgewählt, z. B. derjenige, in den sich das Fertigungsobjekt mit dem geringsten Zeitaufwand einstellen läßt. Dieses Einzel-Kriterium  
20 hängt in der Regel nur von der Geometrie des Sortierpuffers und u. U. der Fertigungsstraße ab, aber nicht von den einzelnen Fertigungsobjekten oder Aufträgen.

Falls ein Teil-Sortierpuffer aufgrund einer Störung ausgefallen ist, wird er bei der Auswahl solange nicht berücksichtigt, bis er wieder verfügbar ist. Möglich ist auch, daß manche Fertigungsobjekte nur in einige der Teil-Sortierpuffer  
25 eingestellt werden können, z. B. aufgrund ihrer Abmessungen oder weil sie eine bestimmte Umgebungstemperatur benötigen. In diesem Fall wird vor der Auswahl ermittelt, welche Teil-Sortierpuffer zum Einstellen des Fertigungsobjekts überhaupt  
30 in Frage kommen.

In einer Fortbildung wird das dritte Einzel-Kriterium dahingehend abgewandelt, daß ein Teil-Sortierpuffer um so höher  
35 bewertet wird, je unähnlicher das einzustellende Fertigungs-

objekt zu den aktuell im Teil-Sortierpuffer vorhandenen Fertigungsobjekten ist. Falls die Fertigungsobjekte in einem Teil-Sortierpuffer zueinander unähnlich sind und daher ähnliche Fertigungsobjekte stets auf verschiedene Teil-Sortierpuffer verteilt werden, so ist die Wahrscheinlichkeit größer, daß ein zum ersten Auftrag passendes Fertigungsobjekt auch dann noch dem Sortierpuffer entnommen werden kann, wenn ein Teil-Sortierpuffer wegen einer Störung ausgefallen ist und daher auf andere Teil-Sortierpuffer zurückgegriffen werden muß.

Der Wert für den Teil-Sortierpuffer TP<sub>1</sub> bezüglich des dritten Einzel-Kriteriums wird bevorzugt gemäß der folgenden Berechnungsvorschrift ermittelt:

Sei FO das einzustellende Fertigungsobjekt, und seien FO<sub>1</sub>, ..., FO<sub>m</sub> die m Fertigungsobjekte, die sich vor dem Einstellen von FO in TP<sub>1</sub> befinden. Der Vergleich von Aufträgen und Fertigungsobjekten wird aufgrund von r Attributen  $A^{(1)}, \dots, A^{(r)}$  durchgeführt. Beispiele für Attribute sind Motorvarianten, Links- oder Rechtslenker und das Vorliegen oder Nicht-Vorliegen von Sonderausstattungen. Seien  $\omega^{(1)}, \dots, \omega^{(r)}$  vorgegebene Gewichtungsfaktoren für die r Attribute. Für die r Attribute sind r Abstandsmaße  $\text{dist}^{(1)}, \dots, \text{dist}^{(r)}$  definiert. Für  $s=1, \dots, r$  definiert  $\text{dist}^{(s)}$  ein Maß für die Unähnlichkeit zweier möglicher Attributwerten a und b des Attributs  $A^{(s)}$ . Häufig ist  $\text{dist}^{(s)}(a,b) = 1$ , falls a gleich b ist, und  $\text{dist}^{(s)}(a,b) = 0$ , falls a ungleich b ist. Ein anderes Maß für die Unähnlichkeit wird vorzugsweise beispielsweise für ein Attribut definiert, das sich auf die Farbe der Lackierung von Kraftfahrzeugen bezieht. Je stärker zwei verschiedene Lackfarben voneinander abweichen, desto größer ist der Wert für dist. Berücksichtigt wird der Aufwand, eine Lackierstraße von einer Farbe auf eine andere Farbe umzustellen, und die Auswirkungen von Restpartikeln der alten Farbe auf eine Lackierung in einer neuen Farbe.

Seien  $a^{(1)}, \dots, a^{(r)}$  die Attributwerte des einzustellenden Fertigungsobjekts FO. Seien für  $k=1, \dots, m$   $b_k^{(1)}, \dots, b_k^{(r)}$  die Attributwerte des Fertigungsobjekts FO<sub>k</sub>, das sich bereits im Teil-Sortierpuffer TP<sub>1</sub> befindet. Der Wert bezüglich des dritten Einzel-Kriteriums wird mit  $\text{dist}(\text{FO}, \text{TP}_1)$  bezeichnet und ist ein Maß für die Unähnlichkeit von FO zu den  $m$  Fertigungsobjekten FO<sub>1</sub>, ..., FO<sub>m</sub> im Teil-Sortierpuffer TP<sub>1</sub>. Dieser Wert wird gemäß der Rechenvorschrift

$$\text{dist}(\text{FO}, \text{TP}_1) = \min \{ \text{dist}(\text{FO}, \text{FO}_1), \dots, \text{dist}(\text{FO}, \text{FO}_m) \}$$

berechnet. Für  $k=1, \dots, m$  ist  $\text{dist}(\text{FO}, \text{FO}_k)$  ein Maß für die Unähnlichkeit zwischen FO und FO<sub>k</sub>, das gemäß der Rechenvorschrift

$$\text{dist}(\text{FO}, \text{FO}_k) = \omega^{(1)} * \text{dist}^{(1)}(a^{(1)}, b_k^{(1)}) + \dots + \omega^{(r)} * \text{dist}^{(r)}(a^{(r)}, b_k^{(r)})$$

berechnet wird.

Die Aufträge 10.1, 10.2, 10.3, ... von Kunden für Fahrzeuge einer bestimmten Baureihe werden in einer Auftrags-Abfolge 50 angeordnet. Aufgrund dieser Auftrags-Abfolge 50 wird die Produktion von Fertigungsobjekten für Produkte dieser Baureihe begonnen. Diese Fertigungsobjekte verlassen nacheinander den Teilprozeß 100.2 (Gewerk Rohbau) in der Fertigungsobjekt-Abfolge 20.1, 20.2, 20.3, ... Eine Kopie 60 dieser Auftrags-Abfolge 50 mit den Auftrags-Kopien 10.1, 10.2, 10.3, ... wird erzeugt.

Als Verweildauer-Schranke VS für den elektronischen Zwischenspeicher 400.3 des Auswahlpunkts 200.3 ist z. B. der Wert  $3 * T$ , also drei Taktzeiten, vorgegeben. Somit beläuft sich die Schranke auf 3 Auswahlvorgänge. Diese Schranke resultiert aus folgendem Kompromiß:

Wenn ein Auftrag im Zwischenspeicher die Verweildauer-Schranke erreicht hat, wird versucht, für diesen Auftrag ein passendes Fertigungsobjekt zu finden. Falls das erste passende Fertigungsobjekt nicht das erste der Fertigungsobjekt-Abfolge ist, werden die Fertigungsobjekte vor dem ersten passenden

Zum einen sollen möglichst wenige Aufträge verspätet bearbeitet werden

Im folgenden wird die Durchführung von Auswahlvorgängen detailliert beschrieben. Fig. 2 bis Fig. 7 zeigen Momentaufnahmen der Abfolgen 50, 60 und 70 sowie der Inhalte von Zwischenspeicher 400.3 und Sortierpuffer 500.3 nach dem ersten, zweiten, vierten, siebten bzw. neunten Auswahlvorgang. Das jeweils zuletzt ausgewählte Fertigungsobjekt und der ausgewählte Auftrag sind durch einen Doppelpfeil verbunden. Ein ausgewählter Auftrag und ein ausgewähltes Fertigungsobjekt, die zueinander passen, sind durch gleichartige Schraffur gekennzeichnet. Die Verweildauer eines Auftrags, gemessen in Takten, ist durch eine Zahl in einem Kreis gekennzeichnet.

Die Auswahlvorgänge im Auswahlpunkt 200.3 für die aktuelle Baureihe beginnen zu einem Zeitpunkt  $T_0$  und finden zu Zeitpunkten  $T_i = T_0 + i \cdot T$  ( $i=0,1,2,3,\dots$ ) statt. Die für die Durchführung eines Auswahlvorgangs benötigte Zeit ist klein im Vergleich zur Taktzeit  $T$ .

Zum Zeitpunkt  $T_0$  werden der Auftrag 10.1 der Kopie 60 der Auftrags-Abfolge 50 und das Fertigungsobjekt 20.1, die zueinander passen, ausgewählt. Das Fertigungsobjekt 20.1 wird dem Teilprozeß 100.3 zugeführt und in diesem gemäß des ausgewählten Auftrags 10.1 bearbeitet. Der ausgewählte Auftrag 10.1 hat eine Relativ-Position von 0 in der Auswahl-Reihenfolge im Vergleich zur Auftrags-Abfolge 50.

Fig. 2 zeigt als Momentaufnahme die Fertigungsobjekte und Aufträge nach Durchführung dieses ersten Auswahlvorgangs. Die Aufträge und Fertigungsobjekte sind von links kommend dargestellt. Der ausgewählte Auftrag 10.1 und das ausgewählte Fertigungsobjekt 20.1 sind schraffiert dargestellt und durch einen Doppelpfeil verbunden. Der elektronische Zwischenspeicher 400.3 und der Sortierpuffer 500.3 für Fertigungsobjekte sind noch leer.

Zum Zeitpunkt  $T_1 = T_0 + T$  wird festgestellt, daß der Auftrag 10.2 und das Fertigungsobjekt 20.2 nicht zueinander pas-

sen, weil der Auftrag 10.2 sich auf einen Linkslenker bezieht, das Fertigungsobjekt 20.2 hingegen ein Rechtslenker ist. Daraufhin werden die weiteren Fertigungsobjekte in der Fertigungsobjekt-Abfolge mit dem Auftrag 10.2 verglichen.

5 Festgestellt wird, daß das Fertigungsobjekt 20.4 zum Auftrag 10.2 paßt. Vor dem Fertigungsobjekt 20.4 befinden sich zwei Fertigungsobjekte, die beiden in den Sortierpuffer 500.3 eingestellt werden können. Daher wird das Fertigungsobjekt 20.4 ausgewählt und auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-  
10 Abfolge vorgezogen. Der Auftrag 10.2 wird ebenfalls ausgewählt, und das Fertigungsobjekt 20.4 wird gemäß des Auftrags 10.2 im nachfolgenden Teilprozeß 100.3 bearbeitet. Im Sortierpuffer 500.3 befinden sich daher nach dem Zeitpunkt  $T_1$  die beiden Fertigungsobjekte 20.2 und 20.3. Fig. 3 zeigt als  
15 Momentaufnahme die Auftrags-Abfolge 50 und deren Kopie 60, die Fertigungsobjekt-Abfolge 70, den Zwischenspeicher 400.3 und den Sortierpuffer 500.3 nach Durchführung des zweiten Auswahlvorgangs.

Der nächste Auftrag 10.3 in der Kopie 60 der Auftrags-Abfolge  
20 70 wird zum Zeitpunkt  $T_2 = T_0 + 2 \cdot T$  zunächst mit den beiden Fertigungsobjekten im Sortierpuffer 500.3 verglichen. Der Auftrag 10.3 paßt nicht zum Fertigungsobjekt 20.2, weil der Auftrag 10.3 sich auf ein Kraftfahrzeug mit geschlossenem Dach bezieht, das Fertigungsobjekt 20.3 hingegen eines mit  
25 Schiebedach ist. Hingegen paßt der Auftrag 10.3 zum Fertigungsobjekt 20.2. Daher werden diese beiden ausgewählt. Das Fertigungsobjekt 20.2 wird dem Sortierpuffer entnommen, dem Teilprozeß 100.3 zugeführt und in diesem gemäß des Auftrags 10.3 bearbeitet.

30 Zum Zeitpunkt  $T_3 = T_0 + 3 \cdot T$  wird der nächste Auftrag 10.4 in der Kopie 60 mit dem Fertigungsobjekt 20.2 im Sortierpuffer 500.3 verglichen. Die beiden passen zusammen und werden ausgewählt. Das Fertigungsobjekt 20.2 wird dem Sortierpuffer entnommen

35 Zum Zeitpunkt  $T_4 = T_0 + 4 \cdot T$  wird unter den Fertigungsobjekten der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 nach einem Fertigungsob-



jekt gesucht, das zum nächsten Auftrag 10.5 der Kopie 60 paßt. Das nächste passende Fertigungsobjekt ist das Fertigungsobjekt 20.9. Um dieses Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorzuziehen, werden vier freie Plätze im Sortierpuffer 500.3 benötigt, weil vor 20.9 noch vier weitere Fertigungsobjekte 20.5 bis 20.8 vor dem passenden Fertigungsobjekt 20.9 kommen. Der Sortierpuffer 500.3 hat aber nur drei freie Plätze. Daher kann kein zum Auftrag 10.5 passendes Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorgezogen werden, und der Auftrag 10.5 wird in den Zwischenspeicher 400.3 eingestellt. Der nachste Auftrag 10.6 der Kopie 60 wird mit den Fertigungsobjekten der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 verglichen. Das nächste passende Fertigungsobjekt ist das Fertigungsobjekt 20.7. Die beiden vor diesem passenden Fertigungsobjekt befindlichen Fertigungsobjekte 20.5 und 20.6 werden in den Sortierpuffer 500.3 eingestellt. Das Fertigungsobjekt 20.7 und der Auftrag 10.6 werden ausgewählt. Der ausgewählte Auftrag 10.7 hat eine Relativ-Position von +1, weil er eine Position früher dem Teilprozeß 100.3 zugeführt wird, als dies der Festlegung in der Original-Auftrags-Abfolge 50 entspricht.

Fig. 4 zeigt als Momentaufnahme die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem fünften Auswahlvorgang, also nach dem Zeitpunkt  $T_4$ . Die Anzahl von Auswahlvorgängen, die ein zurückgestellter Auftrag sich bereits im Zwischenspeicher 400.3 befindet, ist durch eine Zahl in einem Kreis dargestellt.

Zum Zeitpunkt  $T_5 = T_0 + 5 \cdot T$  werden zunächst die Aufträge im Zwischenspeicher 400.3 mit den Fertigungsobjekten im Sortierpuffer 500.3 verglichen. Der einzige Auftrag 10.5 im Zwischenspeicher wurde bereits mit den Fertigungsobjekten 20.5 und 20.6 im Sortierpuffer 500.3 verglichen und als nicht passend erkannt. Das erste Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge 70, das zum Auftrag 10.6 paßt, ist das Fertigungsobjekt 20.9. Dieses kann nunmehr auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 vorgezogen werden, weil hierfür nur noch ein Fertigungsobjekt, nämlich das Fertigungsob-

jekt 20.8, in den Sortierpuffer 500.3 eingestellt werden muß. Daher werden der Auftrag 10.6 und das Fertigungsobjekt 20.9 ausgewählt. Das Fertigungsobjekt 20.8 wird in den Sortierpuffer 500.3 eingestellt und der Auftrag 10.6 dem Zwischenspeicher 400.3 entnommen. Der ausgewählte Auftrag 10.6 hat eine Relativ-Position von -1.

10 Zum Auswahl-Zeitpunkt  $T_6 = T_0 + 6 \cdot T$  wird der nächste Auftrag 10.7 zunächst mit den drei Fertigungsobjekten 20.5, 20.6 und 20.8 im Sortierpuffer 500.3 verglichen. Jedoch paßt keiner drei Fertigungsobjekte zum Auftrag 10.7. Das erste Fertigungsobjekt 20.10 der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 paßt ebenfalls nicht zum Auftrag 10.7. Weil im Sortierpuffer 500.3 keine freien Plätze mehr verfügbar sind, wird der Auftrag 10.7 zurückgestellt, indem er in den Zwischenspeicher 400.3  
15 eingestellt wird. Auch der nächste Auftrag 10.8 wird zunächst mit den drei Fertigungsobjekten im Sortierpuffer 500.3 verglichen, jedoch paßt er zu keinem von ihnen. Hingegen paßt der Auftrag 10.8 zum ersten Fertigungsobjekt 20.10 der Fertigungsobjekt-Abfolge 70. Daher werden 10.8 und 20.10 ausge-  
20 wählt. Der ausgewählte Auftrag 10.8 hat eine Relativ-Position von +1.

Zum Auswahl-Zeitpunkt  $T_7 = T_0 + 7 \cdot T$  wird zunächst ein zum Auftrag 10.7 im Zwischenspeicher 400.3 passendes Fertigungsobjekt gesucht. Die drei Fertigungsobjekte im Sortierpuffer  
25 500.3 passen nicht zum Auftrag 10.7. Das erste Fertigungsobjekt 20.11 der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 paßt ebenfalls nicht zum Auftrag 10.7. Weil im Sortierpuffer 500.3 keine freien Plätze mehr verfügbar sind, verbleibt der Auftrag 10.7 im Zwischenspeicher 400.3. Auch der nächste Auftrag 10.9 wird  
30 zunächst mit den drei Fertigungsobjekten im Sortierpuffer 500.3 verglichen, jedoch paßt er zu keinem von ihnen. Hingegen paßt der Auftrag 10.9 zum ersten Fertigungsobjekt 20.11 der Fertigungsobjekt-Abfolge 70. Daher werden 10.9 und 20.11 ausgewählt. Der ausgewählte Auftrag 10.9 hat eine Relativ-  
35 Position von +1.

Fig. 5 zeigt als Momentaufnahme die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem achten Auswahlvorgang.

5 Zum Zeitpunkt  $T_8 = T_0 + 8 \cdot T$  wird zunächst der im Zwischenspeicher 400.3 befindliche Auftrag 10.7 mit dem nächsten Fertigungsobjekt 20.12 verglichen, jedoch passen diese beiden nicht zueinander. Daher verbleibt der Auftrag 10.7 im Zwischenspeicher 400.3. Der nächste Auftrag 10.10 paßt zwar zum  
10 Fertigungsobjekt 20.15 der Fertigungsobjekt-Abfolge 70, aber nicht zum nächsten Fertigungsobjekt 20.12. Da das passende Fertigungsobjekt 20.13 nicht auf den ersten Platz vorgezogen werden kann, wird der Auftrag 10.10 ebenfalls in den Zwischenspeicher 400.3 eingestellt. Der nächste Auftrag 10.11  
15 paßt zum nächsten Fertigungsobjekt 20.12. Daher werden 10.11 und 20.12 ausgewählt. Der ausgewählte Auftrag 10.11 hat eine Relativ-Position von +2.

Zum Zeitpunkt  $T_9 = T_0 + 9 \cdot T$  wird festgestellt, daß sich im Zwischenspeicher 400.3 zwei Aufträge befinden. Der Auftrag 10.7 verweilt bereits zwei Auswahlvorgänge lang im Zwischenspeicher, der Auftrag 10.10 noch keinen. Daher wird zunächst  
20 der Auftrag 10.7 mit dem nächsten Fertigungsobjekt 20.13 verglichen, die beiden passen aber nicht zusammen. Der Auftrag 10.10 paßt hingegen zum Fertigungsobjekt 20.13. Daher werden 10.10 und 20.13 ausgewählt, und der Auftrag 10.10 wird dem  
25 Zwischenspeicher 400.3 entnommen. Der ausgewählte Auftrag 10.10 hat eine Relativ-Position von 0.

Fig. 6 zeigt als Momentaufnahme die Fertigungsobjekte und Aufträge im Ausführungsbeispiel nach dem zehnten Auswahlvorgang.

30 Zum Zeitpunkt  $T_{10} = T_0 + 10 \cdot T$  wird festgestellt, daß sich der Auftrag 10.7 bereits drei Auswahlvorgänge lang im Zwischenspeicher 400.3 befindet. Damit ist eine obere Schranke erreicht, und der Auftrag wird bevorzugt behandelt. Das passende Fertigungsobjekt 20.15 läßt sich nicht mit Hilfe des  
35 Sortierpuffers 500.3 auf den ersten Platz vorziehen, weil

keine freien Plätze verfügbar sind. Eine der folgenden Verfahrensschritte wird daher ausgeführt, um fortzufahren:

- 5     - Ein Fertigungsobjekt im Sortierpuffer 500.3 und der nächste zu ihm passender Auftrag der Kopie 60 werden ausgewählt. Dadurch wird ein Platz im Sortierpuffer 500.3 frei, und das zum Auftrag 10.7 passende Fertigungsobjekt 20.15 kann auf den ersten Platz vorgezogen werden.
- 10    - Eine Vorgehensweise wird angewendet, um das Fertigungsobjekt 20.15 vorzuziehen und dem Teilprozeß 100.3 zuzuführen, ohne den Sortierpuffer 500.3 zu benutzen. Beispielsweise wird das Fertigungsobjekt 20.15 aus der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 ausgeschleust und mit Hilfe einer bestimmten Transportvorrichtung vorgezogen und dem Teilprozeß 100.3 zugeführt.
- 15    - Der Auftrag 10.7 und das Fertigungsobjekt 20.13 werden ausgewählt, obwohl der ausgewählte Auftrag 10.7 und das ausgewählte Fertigungsobjekt 20.13 nicht zusammenpassen. Diese Alternative wird nur dann durchgeführt, wenn das ausgewählte Fertigungsobjekt nachträglich zum ausgewählten  
20    Auftrag passend gemacht werden kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn das Fertigungsobjekt nur deshalb nicht zum Auftrag paßt, weil ein Teilsystem für das Fertigungsobjekt zu spät zugeliefert wird und anstelle im Teilprozeß 100.2 im nachfolgenden Teilprozeß 100.3 eingebaut wird.
- 25    - Die Auswahl des Auftrags 10.7 wird rückgängig gemacht, und der Auftrag 10.7 wird als nicht innerhalb der maximal zulässigen Wartezeit dem Teilprozeß 100.3 zuführbar markiert. Der Auftrag 10.7 wird an die Fahrzeug-Einplanung (Teilprozeß 100.1) zurückgeführt. Dort wird er erneut ein-  
30    geplant. Vorzugsweise wird zuvor geprüft, ob seine Fertigung prinzipiell möglich ist oder gegenwärtig z. B. aufgrund eines Ausfalls nicht möglich ist. Falls z. B. der Auftrag 10.7 Allradantrieb vorsieht und die Produktion oder Zulieferung von Allradantrieben zur Zeit völlig ausge-  
35    fallen ist, wird der Auftrag 10.7 nicht eingeplant, bis

der Ausfall der Produktion von Allradantrieben behoben ist.

Für den Teilprozeß 100.3 ist die dritte Alternative technisch nicht realisierbar. Die vierte Alternative würde dazu führen, daß ein Produkt gemäß des Auftrags 10.7 sehr viel später als vereinbart fertiggestellt werden würde. Die zweite Alternative ist aber oft gar nicht durchführbar oder ist aufwendig und wird daher selten angewendet. Die erste Alternative führt dazu, daß der Auftrag 10.7 mit einer noch größeren Verspätung gegenüber der geplanten Reihenfolge bearbeitet wird. Weil für die erste Alternative aber nur ein Fertigungsobjekt aus dem Sortierpuffer 500.3 entfernt werden muß, wird zunächst die erste Alternative erprobt. In dieser Situation wird also nicht nur der nächste, sondern auch der übernächste Auswahlvorgang geplant.

Festgestellt wird, daß der Auftrag 10.12 zu keinem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer 500.3 paßt. Hingegen paßt das Fertigungsobjekt 20.5 im Sortierpuffer 500.3 zum Auftrag 10.13. Daher werden das Fertigungsobjekt 20.5 und der Auftrag 10.13 ausgewählt. Das Fertigungsobjekt 20.5 wird dem Sortierpuffer 500.3 entnommen und dem Teilprozeß 100.3 zugeführt. Der ausgewählte Auftrag 10.13 hat eine Relativ-Position von +2. Der Auftrag 10.12 wird in den Zwischenspeicher 400.3 eingestellt.

Zum Zeitpunkt  $T_{11} = T_0 + 11 \cdot T$  wird die bereits zuvor festgelegte Abfolge ausgeführt. Das Fertigungsobjekt 20.14 wird in den Sortierpuffer eingestellt. Der Auftrag 10.7 und das Fertigungsobjekt 20.15 werden ausgewählt. Der Auftrag 10.7 wird dem Zwischenspeicher 400.3 entnommen. Der ausgewählte Auftrag 10.7 hat eine Relativ-Position von -5.

Zum Zeitpunkt  $T_{12} = T_0 + 12 \cdot T$  wird der verbleibende Auftrag 10.12 im Zwischenspeicher 400.3 zunächst mit den drei Fertigungsobjekten im Sortierpuffer 500.3 verglichen. Festgestellt wird, daß der Auftrag 10.12 zum Fertigungsobjekt 20.6 paßt.

Daher werden 10.12 und 20.6 ausgewählt. Der Auftrag 10.12

wird dem Zwischenspeicher 400.3 entnommen, das Fertigungsobjekt 20.6 dem Sortierpuffer 500.3.

Fig. 7 zeigt die nunmehr erreichte Situation.

5 Zum Zeitpunkt  $T_{13} = T_0 + 13 \cdot T$  wird festgestellt, daß der Auftrag 10.14 zum Fertigungsobjekt 20.8 paßt. Daher werden beide ausgewählt, und 20.8 wird dem Sortierpuffer 500.3 entnommen. Zum Zeitpunkt  $T_{14} = T_0 + 14 \cdot T$  wird festgestellt, daß der Auftrag 10.15 zum Fertigungsobjekt 20.14 paßt. Daher werden beide ausgewählt, und 20.14 wird dem Sortierpuffer 500.3 entnommen. In diesem Beispiel ist damit die Kopie 60 der Auftrags-Abfolge 50 und damit auch die Auftrags-Abfolge 50 abgearbeitet.

15 Die folgende Tabelle veranschaulicht die Abfolge der Auswahlvorgänge. Eingetragen sind die Figuren, die die jeweils erreichte Situation zeigen. Hierbei bedeuten:

- Zeitpkt.: Nummer  $i$  des Auswahlzeitpunkts  $T_i$
- 1. Auftrag: erster Auftrag in der Kopie 60 der Auftrags-Abfolge 50 vor Durchführung des Auswahlvorgangs Nr.  $i$ ,
- 1. FO: erstes Fertigungsobjekt in der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 vor Durchführung des Auswahlvorgangs Nr.  $i$ ,
- Inhalt Zwischenspeicher: Inhalt des elektronischen Zwischenspeichers 400.3 nach Durchführung des Auswahlvorgangs Nr.  $i$ , wobei die jeweilige Verweildauer in eckigen Klammern angegeben ist,
- 25 - Inhalt Sortierpuffer: Inhalt des Sortierpuffers 500.3 nach Durchführung des Auswahlvorgangs Nr.  $i$ ,
- ausgew. Auftrag: der im Auswahlvorgang Nr.  $i$  aus der Kopie ausgewählter Auftrag,
- ausgew. FO: das im Auswahlvorgang Nr.  $i$  aus der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 ausgewähltes Fertigungsobjekt,
- 30 - Rel-Pos: Relativ-Position des ausgewählten Auftrags.



10	10.12	20.14	10.7 [4], 10.12 [0]	20.6, 20.8	10.13	20.5	+2
11	10.14	20.14	10.12 [1]	20.6, 20.8, 20.14	10.7	20.15	-5
12	10.14	./.	./.	20.8, 20.14	10.12	20.6	-1
Fig. 7							
13	10.14	./.	./.	20.14	10.14	20.8	0
14	./.	./.	./.	./.	10.15	20.14	0

In diesem Beispiel wurden 4 der 15 Aufträge in den Zwischenspeicher eingestellt, und 7 der 15 Aufträge weisen weder einen Vorgriff noch einen Nachgriff auf, sondern sind positionstreu.

- 5 Wie oben bereits beschrieben, wird für jeden Auftrag und jedes Fertigungsobjekt ein Datensatz in einer Datenbank erzeugt. Ein industrietauglicher Produktionsleitreechner hat Les- und Schreibzugriff auf diese Datenbank. Möglich ist es, jeden elektronischen Zwischenspeicher als eigene Datenbank zu realisieren und Datensätze real zu kopieren. Rechenzeit und Speicherkapazität werden eingespart, wenn keine Datensätze kopiert werden, sondern das Verfahren dadurch realisiert wird, daß zusätzliche Datenfelder angelegt und verändert werden. Dies wird im folgenden beschrieben.
- 10
- 15 Jeder Datensatz für einen Auftrag umfaßt folgende Datenfelder:
- Datenfelder für die oben beschriebenen Festlegungen des Kraftfahrzeugs, das aufgrund des Auftrags zu fertigen ist, z. B. Farbe der Lackierung und gewünschte Sonderausstattungen,
  - 20 - Soll-Position, das ist die Position des Auftrags in der Auftrags-Reihenfolge 50,



- eine Kennung desjenigen Fertigungsobjekts, das aktuell aufgrund des Auftrags bearbeitet wird,
- eine Kennung desjenigen Teilprozesses, in dem ein Fertigungsobjekt gemäß dem Auftrag aktuell bearbeitet wird
- 5 - Ist-Position, das ist die Position des Auftrags in der Kopie 60 der Auftrags-Reihenfolge,
- eine Kennung desjenigen elektronischen Zwischenspeichers, in dem sich der Auftrag aktuell befindet,
- 10 - für jeden Teilprozeß die beiden Soll-Zeitpunkte, an dem gemäß der Fahrzeug-Einplanung die Bearbeitung eines Fertigungsobjekts gemäß des Auftrags begonnen bzw. beendet werden soll,
- für jeden Teilprozeß die beiden Ist-Zeitpunkte, an dem die Bearbeitung eines Fertigungsobjekts gemäß des Auftrags
- 15 tatsächlich begonnen bzw. beendet wurde.

Die Auswahlvorgänge werden vorteilhafterweise in jedem Auswahlpunkt protokolliert. Hierbei wird jeweils protokolliert, welcher Auftrag und welches Fertigungsobjekt ausgewählt werden. Das Protokoll, das in einem Auswahlpunkt 200.x erzeugt

20 wird, umfaßt also eine Abfolge von Paaren, die jeweils aus einem Auftrag und einem zum Auftrag passenden Fertigungsobjekt. Die Informationen über einen Auftrag umfassen eine eindeutige Kennung und. Die Informationen über ein Fertigungsobjekt umfassen ebenfalls eine eindeutige Kennung sowie die

25 Ausprägungen des Fertigungsobjekts bezüglich aller Merkmale, die in einem der Teilprozesse vor dem Auswahlpunkt 200.x bearbeitet wurden und daher zur oben beschriebenen Bearbeitungs-Teilmenge eines dieser Teilprozesse gehört.

Ein Datensatz für ein Fertigungsobjekt umfaßt folgende Datenfelder:

30

- eine Kennung desjenigen Teilprozesses, in dem das Fertigungsobjekt aktuell bearbeitet wird,
- eine Kennung des Auftrags, aufgrund dessen das Fertigungsobjekt aktuell bearbeitet wird,

- Position des Fertigungsobjekts in der Fertigungsobjekt-Abfolge 70,
- eine Kennung des Sortierpuffers, in dem sich das Fertigungsobjekt aktuell befindet

5 Wenn ein Auftrag vor einem Teilprozeß „wartet“, also ein Fertigungsobjekt aufgrund des Auftrags in einem vorhergehenden Teilprozeß bearbeitet wurde und das Fertigungsobjekt den vorhergehenden Teilprozeß verlassen hat, aber noch nicht für den nächsten Teilprozeß ausgewählt wurde, wird derjenige Teilprozeß  
10 notiert, vor dem der Auftrag wartet. Das Datenfeld für einen elektronischen Zwischenspeicher ist natürlich nur dann gefüllt, wenn ein Auftrag der Kopie in den elektronischen Zwischenspeicher eingestellt wurde. Nach der Entnahme des Auftrags aus dem elektronischen Zwischenspeicher wird das Da-  
15 tenfeld für den Zwischenspeicher geleert.

Im Beispiel der Fig. 4 ist die Soll-Position des Auftrags  
10.1 die 1, die des Auftrags 10.2 die 2 und so fort. Die Ist-Position des Auftrags 10.1 ist die 1, die des Auftrag 10.2 die 4, die des Auftrag 10.4 die 2 und so fort. Der Auftrag  
20 10.3 besitzt nach dem vierten Auswahlvorgang keine Soll-Position. Im entsprechenden Datenfeld ist eine Kennung des Zwischenspeichers 400.3 notiert.

Bei der Durchführung eines Auswahlvorgangs durchsucht der Produktionsleitreechner die Datensätze für Aufträge und sucht  
25 jeweils nach einem Fertigungsobjekt und einem Auftrag, die zueinander passen. Sind diese gefunden, wird im Datensatz für den ausgewählten Auftrag eine Kennung des ausgewählten Fertigungsobjekts notiert. Umgekehrt wird im Datensatz für das ausgewählte Fertigungsobjekt eine Kennung des ausgewählten  
30 Auftrags notiert. Die Datenfelder „Ist-Position“ des Auftrags-Datensatzes und „Position“ des Fertigungsobjekts werden mit den aktuellen Werten gefüllt. Die Kopie der Auftrags-Abfolge wird dadurch gebildet, daß die Datenfelder „Ist-Position“ der Auftrags-Datensätze gefüllt und verändert wer-  
35 den. Sobald ein Auftrag den „Taufpunkt“ 300 erreicht hat,

sind die Werte in „Ist-Position“ und „Soll-Position“ identisch, so daß nur noch der Wert von „Soll-Position“ benötigt wird.

Vorzugsweise werden die Datenfelder „Ist-Position“, „Ist-Zeitpunkte“, „elektronischer Zwischenspeicher“ und „Fertigungsobjekt der Auftrags-Datensätze sowie „Position“ und „Auftrag“ der Fertigungsobjekt-Datensätze regelmäßig geleert und mit den aktuellen Werten beschrieben. Diese aktuellen Werte werden zuvor ermittelt. Dadurch wird regelmäßig ein definierter Aufsetzpunkt geschaffen. Beispielsweise wird jede Nacht eine vorbeugende Instandhaltung des gesamten Fertigungsprozesses durchgeführt. Während dieser Instandhaltung werden die gerade genannten Datenfelder geleert und mit den ermittelten aktuellen Werten gefüllt.

Durch automatische Auswertung des Protokolls, das im Auswahlpunkt 200.x erzeugt wird, läßt sich die im folgenden beschriebene Positions-Güte des vorhergehenden Teilprozesses ermitteln.

Durch automatische Auswertung des Protokolls aus dem Auswahlpunkt 200.3 läßt sich z. B. die Positions-Güte des Teilprozesses 100.2 ermitteln. Die Reihenfolge der Aufträge in der Auftrags-Abfolge vor dem Teilprozeß 100.2 wird verglichen mit der Reihenfolge nach dem Teilprozeß 100.2. In der bevorzugten Ausführungsform wird im Auswahlpunkt 200.3 eine Kopie 60 der Auftrags-Abfolge 50 erzeugt. Die Original-Auftrags-Abfolge wird durch die Auswahlvorgänge im Auswahlpunkt 200.3 nicht verändert, sondern nur die Kopie. Daher wird die nach Durchführung der Auswahlvorgänge die Kopie mit dem Original verglichen.

In dem Beispiel, das durch Fig. 2 bis Fig. 7 illustriert wird, haben die ausgewählten Aufträge nach Verlassen des Sortierpuffers 500.3 folgende Relativ-Positionen, die durch Vergleich der Kopie 70 mit dem Original 60 ermittelt werden:

Auftrag	Relativ-Position
10.1	0

10.2	0
10.3	0
10.4	0
10.5	-1
10.6	+1
10.7	-5
10.8	+1
10.9	+1
10.10	0
10.11	+2
10.12	-1
10.13	+2
10.14	0
10.15	0

Der größte Vorgriff, das ist die größte Relativ-Position, beträgt in diesem Beispiel +2 Positionen. Weil in diesem Beispiel der Sortierpuffer nur drei Fertigungsobjekte aufnehmen kann, ist der Vorgriff nach oben durch 3 beschränkt. Der größte Nachgriff, das ist der Betrag der kleinsten Relativ-Position, beträgt 5 Positionen.

Die mit dem Sortierpuffer 500.3 erreichbare Positions-Güte läßt sich durch ein Histogramm darstellen. Fig. 8 zeigt ein solches Histogramm für die 14 Auswahlvorgänge, die durch Fig. 2 bis Fig. 7 und die obenstehende Tabelle veranschaulicht werden. Weil die Fertigungsobjekte in Taktfertigung bearbeitet werden und eine feste Taktzeit von z. B. 2 min vorgegeben ist, läßt sich aus dem Histogramm ein Vorgriff und ein Nachgriff in Minuten berechnen. Ein Vorgriff von 2 Positionen entspricht einem Vorgriff von  $2 * 2 \text{ min} = 4 \text{ Minuten}$ , ein Nachgriff von 5 Positionen einem Nachgriff von  $5 * 2 \text{ min} = 10 \text{ Minuten}$ .

Die wie oben beschriebenen erzeugten Protokolle für einen Referenz-Typ von Fertigungsobjekten werden verwendet, um für einen später produzierten Typ die Sortierpuffer zu dimensionieren. Dies wird am Beispiel des Auswahlpunktes 200.3 mit dem Sortierpuffer 500.3 beschrieben. Verwendet wird ein Protokoll mit der Original-Auftrags-Abfolge 50 und der Abfolge 70 von Fertigungsobjekten in der Reihenfolge, in der die Fertigungsobjekte den vorhergehenden Teilprozeß 100.2 verlassen haben. Die protokollierte Original-Abfolge fungiert als Referenz-Abfolge von Referenz-Aufträgen. Die protokollierte Abfolge 70 der Fertigungsobjekte fungiert als elektronisches Abbild der Referenz-Fertigungsobjekt-Abfolge.

In diesem Beispiel sind folgende mögliche Werte für die Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers 500.3 für Fertigungsobjekte vorgegeben: 0, 3, 6 und 9 Plätze. Ein elektronisch verfügbares Modell des Sortierpuffers 500.3 wird erzeugt. Dieses Modell läßt sich auf eine vorgegebene Höchstanzahl verfügbarer Plätze einstellen.

Für jeden der vorgegebenen möglichen Werte wird eine Simulation durchgeführt. In dieser Simulation werden das Modell des Sortierpuffers 500.3 und der elektronische Zwischenspeicher 400.3 verwendet.

Die Simulation für 3 Stellplätze verläuft genauso wie oben dargestellt. Die folgende Tabelle erläutert die Simulation für 0 Stellplätze, also den Fall, daß überhaupt kein Sortierpuffer vorgesehen ist. In dieser Simulation wird folgende Strategie bei den Auswahlverfahren angewendet:

- Zunächst werden die Aufträge im Zwischenspeicher mit dem ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 verglichen. Falls hierbei ein Auftrag, der zum ersten Fertigungsobjekt paßt, gefunden wird, so werden diese ausgewählt, und der Auftrag wird dem Zwischenspeicher entnommen.
- Ansonsten wird das erste Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge 70 mit den Aufträgen der Auftrags-Abfolge

5 verglichen. Das erste Fertigungsobjekt und der erste passende Auftrag werden ausgewählt. Alle Aufträge vor dem ersten passenden werden in den Zwischenspeicher eingestellt. Falls bereits der erste Auftrag zum ersten Fertigungsobjekt paßt, wird kein Auftrag in den Zwischenspeicher eingestellt.

- Verfahren, um ohne einen Sortierpuffer ein Fertigungsobjekt auf den ersten Platz vorzuziehen, werden in der Simulation nicht angewendet.

10

Zeit pkt.	1. Auf- trag	1. FO	Inhalt Zwischen- speicher	Inhalt Sor- tier- puffer	ausgew. Auftrag	aus- gew. FO	Rel- Pos
0	10.1	20.1	./.	./.	10.1	20.1	0
1	10.2	20.2	10.2 [0]	./.	10.3	20.2	+1
2	10.4	20.3	10.2 [1]	./.	10.4	20.3	+1
3	10.5	20.4	./.	./.	10.2	20.4	-2
4	10.5	20.5	10.5 [0], ... 10.12 [0]	./.	10.13	20.5	+8
5	10.14	20.6	10.5 [1], ... 10.11 [1]	./.	10.12	20.6	+6
6	10.14	20.7	10.5 [2], 10.7 [2], ... 10.11 [2]	./.	10.6	20.7	-1

7	10.14	20.8	10.5 [3], 10.7 [3], ... 10.11 [3]	./.	10.14	20.8	+6
8	10.15	20.9	10.7 [4], ... 10.11 [4]	./.	10.5	20.9	-4
9	10.15	20.10	10.7 [5], 10.9 [5], ... 10.11 [5]	./.	10.8	20.10	-2
10	10.15	20.11	10.7 [5], 10.10 [5], 10.11 [5]	./.	10.9	20.11	-2
11	10.15	20.12	10.7 [6], 10.10 [6]	./.	10.11	20.12	-1
12	10.15	20.13	10.7 [6]	./.	10.10	20.13	-3
13	10.15	20.14	10.7 [7]	./.	10.15	20.14	+1
14	./.	20.15	./.	./.	10.7	20.15	-8

In diesem Beispiel wurden 14 der 15 Aufträge in den Zwischenspeicher eingestellt, und nur einer der Aufträge weist weder einen Vorgriff noch einen Nachgriff auf, sondern ist positionstreu. Die Simulation liefert als Nebenergebnis die Güte des Teilprozesses 100.2 ohne den Sortierpuffer 500.3, weil u.  
 5 a. maximaler Nachgriff und Vorgriff sowie durchschnittliche Positionstreue ermittelt werden.

Für jeden der vorgegebenen möglichen Werte werden durch die Simulationen folgende Qualitäts-Kenngrößen ermittelt:

10 - der größte Wert aller Relativ-Positionen,

- der kleinste Wert aller Relativ-Positionen,
- der Mittelwert aller Relativ-Positionen
- und die Reihenfolge-Güte, das ist der Anteil derjenigen Aufträge, deren Relativ-Position gleich 0 ist und die positionstreu sind, an der Gesamtanzahl der Aufträge.

Fig. 10 zeigt die Reihenfolge-Güte als Funktion der Anzahl von Plätzen im Sortierpuffer 500.3. Auf der x-Achse ist in Fig. 10 die Anzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers eingetragen, auf der y-Achse die jeweils resultierende Reihenfolge-Güte. Fig. 11 zeigt den maximale Nachgriff als Funktion der Anzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers 500.3. Auf der x-Achse ist in Fig. 11 die Anzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers eingetragen, auf der y-Achse der jeweils resultierende maximale Nachgriff.

- 15 Auf einer dieser Funktionen wird ein Arbeitspunkt ausgewählt. Durch die Auswahl wird eine Anzahl verfügbarer Plätze festgelegt. Vorzugsweise ist eine untere Schranke für die Reihenfolge-Güte vorgegeben, z. B. 75%, oder eine obere Schranke für den maximalen Nachgriff, z. B. 25 Relativ-Positionen.
- 20 Weil die Anschaffung und der Betrieb des Sortierpuffers um so teurer ist und der Sortierpuffer um so mehr Platz wegnimmt, desto mehr Plätze er hat, wird er mit so wenigen Plätzen wie möglich ausgelegt. Vorzugsweise wird dann, wenn eine untere Schranke für die Reihenfolge-Güte vorgegeben ist, ein Arbeitspunkt möglichst nahe der unteren Schranke gewählt. Entsprechend wird dann, wenn eine obere Schranke für den maximalen Nachgriff vorgegeben ist, ein Arbeitspunkt möglichst nahe der oberen Schranke gewählt. Ein alternatives Vorgehen ist das, einen Arbeitspunkt auszuwählen, in dem die Steigung der
- 25 Funktion annähernd 45 Grad bzw. -45 Grad beträgt. Dieser Arbeitspunkt wird deshalb gewählt, weil er zu einem guten Kompromiß zwischen der Anforderung nach großer Reihenfolge-Güte bzw. geringem maximalen Nachgriff und der Anforderung nach
- 30 möglichst wenig Plätzen führt.



- In Fig. 10 ist durch die waagrechte Linie eine obere Schranke für die Reihenfolge-Güte bei 75% dargestellt, durch den Kreis ein Arbeitspunkt mit einer Steigung von annähernd 45 Grad. Durch Vorgabe der oberen Schranke von 75% wird eine Anzahl
- 5 von mindestens 20 Plätzen ermittelt. Vorzugsweise wird festgelegt, daß der Sortierpuffer genau 20 Plätze hat. Die Auswahl eines Arbeitspunktes mit einer Steigung von annähernd 45 Grad führt zu einer Anzahl von 12 Plätzen und einer resultierenden Reihenfolge-Güte von 60%. In Fig. 11 ist durch die
- 10 waagrechte Linie eine obere Schranke für den maximalen Nachgriff von 25 Relativ-Positionen dargestellt, durch den Kreis ein Arbeitspunkt mit einer Steigung von annähernd 45 Grad. Durch Vorgabe der oberen Schranke von 25 Relativ-Positionen wird eine Anzahl von mindestens 16 Plätzen ermittelt. Vor-
- 15 zugsweise wird festgelegt, daß der Sortierpuffer genau 16 Plätze hat. Die Auswahl eines Arbeitspunktes mit einer Steigung von annähernd 45 Grad führt zu einer Anzahl von 8 Plätzen und einem resultierenden maximalen Nachgriff von 38 Relativ-Positionen.
- 20 In der bislang beschriebenen Ausführungsform wurde die Abfolge von Referenz-Aufträgen und die Abfolge von Referenz-Fertigungsobjekten unverändert für die Simulation verwendet. Eine Abwandlung dieses Vorgehens berücksichtigt die Möglichkeit, daß der Referenz-Typ sich vom Produkt-Typ, dessen Pro-
- 25 duktion mit Hilfe des auszulegenden Sortierpuffers verbessert werden soll, unterscheidet. Dieser Unterschied wird dadurch berücksichtigt, daß die beiden Referenz-Abfolgen verändert werden, bevor für jeden der möglichen Werte von Plätzen je eine Simulation durchgeführt wird. Mindestens eine der fol-
- 30 genden Abänderungen wird vorgenommen:
- Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators werden einzelne Referenz-Aufträge und dazu passende Referenz-Fertigungsobjekte ausgewählt, und mindestens ein Merkmal wird in beiden Datensätzen geändert, das im Teilprozeß
- 35 100.2 hergestellt wurde und daher zur Bearbeitungs-Teilmenge des Teilprozesses gehören. Beispielsweise gehö-

ren zum Referenz-Typ nur Fahrzeuge für Europa und Nordamerika, zum Produkt-Typ hingegen auch Fahrzeuge für Japan. Das Merkmal „Kennzeichen-Mulde im Heckdeckel“ hat beim Referenz-Typ nur die Ausprägung „große Kennzeichen-Mulde“, beim Produkt-Typ hingegen die beiden möglichen Ausprägungen „große Kennzeichen-Mulde“ und „kleine Kennzeichen-Mulde“. Zufällig werden einzelne Referenz-Aufträge und dazu passende Referenz-Fertigungsobjekte ausgewählt und mit der Ausprägung „kleine Kennzeichen-Mulde“ versehen.

10 - Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators werden einzelne Referenz-Aufträge ausgewählt, und mindestens ein Merkmal wird in den Datensätzen der ausgewählten Referenz-Aufträge abgeändert. Dieses Merkmal gehört zur Auswahl-Teilmenge des Teilprozesses 100.3. Beispielsweise ist das Merkmal  
15 die Farbe des Decklacks. Der Referenz-Typ besitzt nur 16 mögliche Farben, also Ausprägungen des Merkmals „Farbe des Decklacks“, der Produkt-Typ hingegen 24 mögliche Farben. Vorgegeben ist eine relative Häufigkeit jeder dieser 24 möglichen Farben. Die Ausprägungen des Merkmals „Farbe des  
20 Decklacks“ in den Datensätzen des Referenz-Typs wird so abgewandelt, daß die Verteilung der Decklack-Farben unter den abgewandelten Datensätzen annähernd der relativen Häufigkeiten gleicht.

- Die Bearbeitung im Teilprozeß 100.2 wird so verbessert,  
25 daß bereits ohne Sortierpuffer der maximale Vorgriff und der maximale Nachgriff der Aufträge bei Zuführung zum Teilprozeß 100.3 besser ist als beim Referenz-Typ. Beispielsweise wird eine Vorgehensweise angewendet, um dann, wenn ein Auftrag bereits einen bestimmten Nachgriff hat,  
30 ein zum Auftrag passendes Fertigungsobjekt vorzuziehen und dem Teilprozeß 100.3 zuzuführen, ohne den Sortierpuffer 500.3 zu benutzen. Die Auswirkungen derartiger Maßnahmen werden in der Simulation dadurch berücksichtigt, daß die Reihenfolge der Referenz-Fertigungsobjekte in der Referenz-Abfolge abgeändert wird, so daß bereits ohne Sortier-  
35 puffer eine vorgegebene obere Schranke für den Nachgriff

und den Vorgriff eingehalten wird. Falls beispielsweise eine obere Schranke von 5 Positionen für Nachgriff und Vorgriff vorgegeben ist und ein Auftrag bereits einen Nachgriff von 5 Positionen hat, so werden in der Simulation der Auftrag und ein zum Auftrag passendes Fertigungsobjekt ausgewählt. Dadurch wird das ausgewählte Fertigungsobjekt auf den ersten Platz der Referenz-Abfolge vorgezogen.

Eine Fortbildung dieses Verfahrens ermöglicht es, verschiedene Variantenspektren unter dem Produkt-Typ zu vergleichen. Beispielsweise werden zwei Funktionen erzeugt: eine für ein Variantenspektrum mit 16 verschiedenen Decklack-Farben, eine weitere für ein Variantenspektrum mit 24 verschiedenen Decklack-Farben. Erzeugt werden zwei Funktionen der Reihenfolge-Güte und zwei Funktionen des maximalen Vorgriffs jeweils als Funktion der Anzahl verfügbarer Plätze. Eine graphische Darstellung zeigt eine Kurvenschar. Entsprechend ist es möglich zu ermitteln, welche Auswirkungen eine Verbesserung der Positions-Güte im Teilprozeß 100.2 auf die Reihenfolge-Güte, die durch den Sortierpuffer 500.3 erzielt wird, hat. Erzeugt werden zwei Funktionen der Reihenfolge-Güte und zwei Funktionen des maximalen Vorgriffs, nämlich eine bei unveränderter und eine bei verbesserter Positions-Güte.

## 25 Bezugszeichenliste

Zeichen	Bedeutung
10.1, 10.2, 10.3, ...	Aufträge der Kopie der Auftrags-Abfolge 60
11.1, 11.2, 11.3, ...	Aufträge der Original-Auftrags-Abfolge 50
20.1, 20.2, 20.3, ...	Fertigungsobjekt-Abfolge nach dem Teilprozeß 100.2
50	Original-Auftrags-Abfolge

60	Kopie der Auftrags-Abfolge
70	Fertigungsobjekt-Abfolge
100.1, 100.2, ...	Gewerke des Fertigungsprozesses als Teilprozesse
100.1	Gewerk Vorlauf-Logistik
100.2	Gewerk Rohbau
100.3	Gewerk Oberfläche
100.4	Gewerk Produktions-Logistik
100.5	Gewerk Inneneinbau
100.6	Gewerk Fahrwerk
100.7	Gewerk Einfahren
100.8	Gewerk Wagen-Fertigstellung
110.1, 110.2	Arbeitsschritte von Teilprozessen
200.2	Auswahlpunkt vor dem Gewerk Rohbau
200.3	Auswahlpunkt vor dem Gewerk Oberfläche
300	Taufpunkt, Auswahlpunkt vor dem Gewerk Inneneinbau
400.2	elektronischer Zwischenspeicher für den Teilprozeß 100.2
400.3	elektronischer Zwischenspeicher für den Teilprozeß 100.3
400.5	elektronischer Zwischenspeicher für den Teilprozeß 100.5
500.3	Sortierpuffer für Fertigungsobjekte zwischen den Teilprozessen 100.2 und 100.3
500.5	Sortierpuffer für Fertigungsobjekte zwischen den Teilprozessen 100.3 und 100.5

DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

03.04.2003

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur automatischen Steuerung eines Fertigungs-  
prozesses zur Serienfertigung auftragsspezifischer Pro-  
dukte, wobei
- der Fertigungsprozeß einen ersten und einen zweiten  
Teilprozeß umfaßt,
  - 10 - eine Abfolge von in elektronischer Form vorliegenden  
Aufträgen für Produkte, die im Fertigungsprozeß gefer-  
tigt werden, erzeugt wird,
  - im ersten Teilprozeß gemäß der Auftrags-Abfolge eine  
Abfolge von Fertigungsobjekten gefertigt wird,
  - 15 - ein Auswahlvorgang durchgeführt wird, bei dem ein Fer-  
tigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge und ein  
Auftrag der Auftrags-Abfolge, die zueinander passen,  
ausgewählt werden,
  - aus dem ausgewählten Fertigungsobjekt im zweiten  
20 Teilprozeß ein Produkt gemäß des ausgewählten Auftrags  
gefertigt wird
  - und Auswahlvorgang und Produktfertigung wiederholt  
werden, bis für jeden Auftrag der Auftrags-Abfolge ein  
Produkt gefertigt ist,
  - 25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- der Fertigungsprozeß einen Sortierpuffer für Fertigungsobjekte umfaßt, der eine festgelegte Höchstanzahl verfügbarer Plätze für Fertigungsobjekte besitzt,

5 - und dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge weder zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt,

10 - geprüft wird, ob für alle Fertigungsobjekte, die in der Fertigungsobjekt-Abfolge vor einem zum ersten Auftrag passenden Fertigungsobjekt angeordnet sind, freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind,

15 - und dann, wenn genügend freie Plätze vorhanden sind, der erste Auftrag und das passende Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt werden und alle Fertigungsobjekte der Fertigungsobjekt-Abfolge vor dem ausgewählten Fertigungsobjekt in den Sortierpuffer eingestellt werden.

20 2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h . g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- jeder Auftrag Merkmale des auftragspezifisch zu fertigenden Produkts umfaßt,

25 - jedes Fertigungsobjekt Merkmale umfaßt, die im ersten Teilprozeß gefertigt werden,

- und bei der Prüfung, ob ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag zueinander passen, die Fertigungsobjekt-Merkmale mit einer Teilmenge der Produkt-Merkmale verglichen werden.

30

3. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

daß ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag dann als zueinander passend gewertet werden,

wenn jedes Produkt-Merkmal des Auftrags, das der Teilmenge angehört, vereinbar mit allen Merkmalen des Fertigungsobjekts ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

daß ein zum Vergleich herangezogenes Merkmal der Zeitpunkt ist, an dem das Produkt spätestens fertiggestellt sein soll.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- jedes Produkt-Merkmal mit einer Gewichtung versehen ist,
- beim Vergleich eines Fertigungsobjekts mit einem Auftrag mit Hilfe dieser Gewichtungen ein Grad der Übereinstimmung ermittelt wird
- und ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag dann als zueinander passend gewertet werden, wenn der Grad der Übereinstimmung eine vorgegebene Schranke erreicht oder übersteigt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

daß bei einem Auswahlvorgang dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer paßt,

Auftrag und Fertigungsobjekt ausgewählt werden und das Fertigungsobjekt dem Sortierpuffer entnommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

5        d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
      daß

- ein zunächst leerer elektronischer Zwischenspeicher für Aufträge erzeugt wird
- und dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge weder zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt und wenn nicht genügend freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind,
- der erste Auftrag in den Zwischenspeicher eingestellt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

      d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
      daß bei einem Auswahlvorgang

- dann, wenn ein Auftrag im Zwischenspeicher zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer paßt, Auftrag und Fertigungsobjekt ausgewählt werden und der Auftrag aus dem Zwischenspeicher und das Fertigungsobjekt aus dem Sortierpuffer entfernt wird,
- und dann, wenn jeder Auftrag im Zwischenspeicher weder zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt und wenn genügend freie Plätze im Sortierpuffer vorhanden sind, ein Auftrag im Zwischenspeicher und ein zum Auftrag passendes Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt werden, alle Fertigungsobjekte vor dem ausgewählten Fertigungsobjekt in



den Sortierpuffer eingestellt werden und der Auftrag aus dem Zwischenspeicher entfernt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

5        d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
      daß

- dann, wenn die Anzahl von Auswahlvorgängen, die ein Auftrag im Zwischenspeicher verweilt, eine vorgegebene Höchstanzahl von Auswahlvorgängen erreicht oder übersteigt,  
10
- dieser Auftrag und ein zu ihm passendes Fertigungsobjekt aus der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt werden
- und das ausgewählte Fertigungsobjekt auf den ersten  
15        Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorgezogen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

      d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
      daß

- ein zunächst leerer elektronischer Zwischenspeicher für Aufträge erzeugt wird,  
20
- dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge weder zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-  
25        Abfolge paßt,
- der erste Auftrag in den Zwischenspeicher eingestellt wird,
- bei einem Auswahlvorgang zunächst die Aufträge im Zwischenspeicher mit Fertigungsobjekten verglichen werden
- 30        - und dann, wenn die Anzahl von Auswahlvorgängen, die ein Auftrag im Zwischenspeicher verweilt, eine vorge-

gebene Höchstanzahl von Auswahlvorgängen erreicht oder übersteigt,

- dieser Auftrag und ein zu ihm passendes Fertigungsobjekt im Sortierpuffer oder aus der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt werden
- und das ausgewählte Fertigungsobjekt auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorgezogen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- gemäß der Auftrags-Abfolge eine Abfolge von auftrags-spezifischen Teilsystemen hergestellt und im zweiten Teilprozeß für die Fertigung der Produkte verwendet wird,
- der Fertigungsprozeß einen Sortierpuffer für Teilsysteme umfaßt,
- und ein Teilsystem, das aufgrund eines Auftrags hergestellt wurde, der zurückgestellt wird,  
vor seiner Verwendung in einen freien Platz des Teilsysteme-Sortierpuffers eingestellt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß der Teilsysteme-Sortierpuffer eine festgelegte Höchstanzahl verfügbarer Plätze besitzt,  
der Quotient aus

- Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Teilsysteme-Sortierpuffers und

- Anzahl auftragsspezifischer Teilsysteme, die im zweiten Teilprozeß für die Fertigung eines auftragsspezifischen Produkts verwendet werden,

ermittelt wird

5 und dann, wenn die Anzahl von Aufträgen im Zwischenspeicher für Fertigungsobjekte den Quotienten erreicht oder übersteigt,

- dieser Auftrag und ein zu ihm passendes Fertigungsobjekt aus der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt werden

- und das ausgewählte Fertigungsobjekt auf den ersten Platz der Fertigungsobjekt-Abfolge vorgezogen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Reihenfolge der Aufträge in der Auftrags-Abfolge vor dem ersten Auswahlvorgang mit der Reihenfolge, in der die Aufträge ausgewählt werden, verglichen wird,

20 wobei für jeden Auftrag dessen Relativ-Position in der Auswahl-Reihenfolge im Vergleich zur Position in der Auftrags-Abfolge ermittelt wird,

und aus den Relativ-Positionen aller Aufträge eine Positions-Güte des Fertigungsprozesses berechnet wird.

25 14. Verfahren nach Anspruch 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß bei der Berechnung der Positions-Güte

- der größte Wert aller Relativ-Positionen,
- der kleinste Wert aller Relativ-Positionen

30 - und/oder der Mittelwert aller Relativ-Positionen bestimmt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 5 - der Sortierpuffer mehrere Teil-Sortierpuffer für Fertigungsobjekte umfaßt,
- vor dem Einstellen eines Fertigungsobjekts in den Sortierpuffer ein Teil-Sortierpuffer automatisch ausgewählt und das Fertigungsobjekt in diesen eingestellt wird.

10 16. Verfahren nach Anspruch 15,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- 15 - eine aktuelle Bewertung jedes Teil-Sortierpuffers bezüglich eines einzustellenden Fertigungsobjekts erzeugt und für die Auswahl des Teil-Sortierpuffers verwendet wird
- und die Bewertung durch Berechnung einer der folgenden Einzel-Bewertungen oder durch Zusammenfassen mehrerer der folgenden Einzel-Bewertungen erzeugt wird:
- 20 - die aktuelle Gesamt-Anzahl der Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer,
- die aktuelle Anzahl derjenigen Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer, die in einem vorigen Auswahlvorgang ausgewählt wurden, aber noch nicht aus dem
- 25 Teil-Sortierpuffer entfernt wurden,
- die aktuelle Gesamt-Anzahl derjenigen Fertigungsobjekte im Teil-Sortierpuffer, die sich durch jeweils mindestens ein Merkmal vom einzustellenden Fertigungsobjekt unterscheiden,
- 30 - der Zeitaufwand, der erforderlich ist, um das einzustellende Fertigungsobjekt in den Teil-Sortierpuffer einzustellen.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15,  
 d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
 daß

- 5     - eine Referenz-Abfolge von in elektronischer Form vor-  
 liegenden Referenz-Aufträgen für Referenz-Produkte,  
 die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, erzeugt  
 wird,
- 10    - im ersten Teilprozeß gemäß der Referenz-Auftrags-  
 Abfolge eine Abfolge von Referenz-Fertigungsobjekten  
 gefertigt wird,
- ein elektronisches Abbild der Referenz-  
 Fertigungsobjekt-Abfolge und ein elektronisch verfüg-  
 bares Modell des Sortierpuffers erzeugt werden,
- 15    - verschiedene mögliche Werte für die Höchstanzahl ver-  
 fügbarer Plätze des Sortierpuffers für Fertigungsob-  
 jekte vorgegeben sind,
- für jeden der vorgegebenen möglichen Werte
  - 20    - die Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuf-  
 fer-Modells auf den Wert eingestellt wird
  - und eine Simulation aller Auswahlvorgänge unter Ver-  
 wendung der Referenz-Auftrags-Abfolge, des Abbildes,  
 des Sortierpuffer-Modells und des Zwischenspeichers  
 durchgeführt wird,
- 25    wobei ein Referenz-Fertigungsobjekt-Abbild in das  
 Modell einstellbar ist, wenn das Modell noch einen  
 freien Platz umfaßt,
- in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Simulationen  
 einer der möglichen Werte ausgewählt wird
- 30    - und für die Auswahlvorgänge der Auftrags-Abfolge ein  
 Sortierpuffer mit dem ausgewählten Wert als Höchstanzahl verfügbarer Plätze verwendet wird.

## 18. Verfahren nach Anspruch 17,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß für jeden der vorgegebenen möglichen Werte für die  
Höchstanzahl

- die Reihenfolge der Aufträge in der Referenz-Auftrags-  
Abfolge vor dem ersten Auswahlvorgang mit der Reihen-  
folge, in der die Referenz-Aufträge in der Simulation  
für diesen Wert ausgewählt werden, verglichen wird,  
wobei für jeden Referenz-Auftrag dessen Relativ-  
Position in der Referenz-Auswahl-Reihenfolge im Ver-  
gleich zur Position in der Auftrags-Abfolge ermittelt  
wird,
- und aus den Relativ-Positionen aller Referenz-Aufträge  
eine Positions-Güte für diesen Wert berechnet wird  
und die Auswahl des Werts in Abhängigkeit von den ermit-  
telten Positions-Güten durchgeführt wird.

## 19. Verfahren nach Anspruch 17 oder Anspruch 18,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- ein zunächst leerer elektronischer Zwischenspeicher  
für Referenz-Aufträge erzeugt wird,
- bei einer Simulation dann, wenn der erste Referenz-  
Auftrag der Referenz-Abfolge zu keinem Referenz-  
Fertigungsobjekt-Abbild im Sortierpuffer-Modell paßt  
und wenn das Modell nicht genügend freie Plätze um-  
faßt, der erste Referenz-Auftrag in den Zwischenspei-  
cher eingestellt wird,
- für jeden der vorgegebenen möglichen Werte ermittelt  
wird, wie viele Referenz-Aufträge der Referenz-

Auftrags-Abfolge im Verlauf der Simulation für diesen Wert in den Zwischenspeicher eingestellt wurden,

- ein Wert ausgewählt wird, der in der Simulation zu einem Anteil von eingestellten Referenz-Aufträgen führt, der kleiner oder gleich einer vorgegebenen Schranke für den Anteil ist,
- und für die Auswahlvorgänge der Auftrags-Abfolge ein Sortierpuffer mit dem ausgewählten Wert als Höchstanzahl verfügbarer Plätze verwendet wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19,

dadurch gekennzeichnet ,  
daß

- verschiedene mögliche automatisch auswertbare Vorschriften für die Prüfung, ob ein Fertigungsobjekt und ein Auftrag zueinander passen oder nicht, vorgegeben sind und
- für jeden der vorgegebenen möglichen Werte und für jede mögliche Prüfungs-Vorschrift die Simulation aller Auswahlvorgänge vorgenommen wird, wobei in der Simulation die Prüfungs-Vorschrift zum Vergleich von Referenz-Aufträgen mit Referenz-Fertigungsobjekt-Abbildern verwendet wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20,

dadurch gekennzeichnet ,  
daß

- verschiedene mögliche Teilmengen von Produkt-Merkmalen vorgegeben sind
- und für jede mögliche Teilmenge die Prüfungs-Vorschrift erzeugt und als mögliche Prüfungs-Vorschrift verwendet wird,

- die ein Fertigungsobjekt und einen Auftrag genau dann als zueinander passend wertet, wenn jedes Produkt-Merkmal des Auftrags, das der möglichen Teilmenge angehört, vereinbar mit allen Merkmalen des Fertigungsobjektes ist.

22. Verfahren nach Anspruch 17,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- der Sortierpuffer mehrere Teil-Sortierpuffer für Fertigungsobjekte und das Sortierpuffer-Modell mehrere Teil-Sortierpuffer-Modelle umfaßt,
- vor dem Einstellen eines Fertigungsobjekts in den Sortierpuffer ein Teil-Sortierpuffer automatisch ausgewählt und das Fertigungsobjekt in diesen eingestellt wird,  
wobei mittels einer Bewertungsfunktion eine aktuelle Bewertung jedes Teil-Sortierpuffers erzeugt wird,
- verschiedene mögliche Bewertungsfunktionen vorgegeben sind,
- für jede mögliche Bewertungsfunktion eine Simulation aller Auswahlvorgänge mit Auswahl von Teil-Sortierpuffer-Modellen mittels dieser Bewertungsfunktion durchgeführt wird
- und in Abhängigkeit von den Simulations-Ergebnissen eine der möglichen Bewertungsfunktionen ausgewählt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
für jede mögliche Bewertungsfunktion mehrere Simulationen durchgeführt werden, in deren Verlauf mindestens ein



Teil-Sortierpuffer-Modell wenigstens zeitweise deaktiviert wird.

24. Verfahren nach Anspruch 12,

5        d a d u r c h        g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- 10        - verschiedene mögliche Werte für die Höchstanzahl verfügbarer Plätze des Sortierpuffers für Teilsysteme vorgegeben sind,
- 15        - eine Referenz-Abfolge von in elektronischer Form vorliegenden Referenz-Aufträgen für Referenz-Produkte, die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, erzeugt wird,
- 20        - im ersten Teilprozeß gemäß der Referenz-Auftrags-Abfolge eine Abfolge von Referenz-Fertigungsobjekten gefertigt wird,
- 25        - Auswahlvorgänge für Referenz-Aufträge und Referenz-Fertigungsobjekte so oft durchgeführt werden, bis jeder Referenz-Auftrag der Abfolge ausgewählt wurde, ermittelt wird, um wie viele Relativ-Positionen ein Referenz-Auftrag in der Reihenfolge, in der die Referenz-Aufträge ausgewählt werden, im Vergleich zur Position des Referenz-Auftrags in der Referenz-Auftrags-Abfolge vor dem ersten Auswahlvorgang höchstens zurückliegt,
- 30        - das Produkt aus dieser höchsten Relativ-Position und der Anzahl auftragsspezifischer Teilsysteme, die für die Fertigung eines auftragsspezifischen Produkts verwendet werden, berechnet wird
- und als Teilsysteme-Sortierpuffer ein Sortierpuffer verwendet wird, dessen Anzahl verfügbarer Plätze für Teilsysteme größer oder gleich dem Produkt ist.

25. Vorrichtung zur automatischen Steuerung eines Fertigungsprozesses zur Serienfertigung auftragsspezifischer Produkte, wobei

- 5       - der Fertigungsprozeß einen ersten und einen zweiten Teilprozeß umfaßt,
- eine Abfolge von in elektronischer Form vorliegenden Aufträgen für Produkte, die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, vorliegt,
- 10      - im ersten Teilprozeß gemäß der Auftrags-Abfolge eine Abfolge von Fertigungsobjekten gefertigt wird,
- die Vorrichtung Mittel zum Durchführen eines Auswahlvorgang zur Auswahl eines Fertigungsobjekts der Fertigungsobjekt-Abfolge und eines Auftrags der Auftrags-Abfolge, die zueinander passen, umfaßt und
- 15      - aus dem ausgewählten Fertigungsobjekt im zweiten Teilprozeß ein Produkt gemäß des ausgewählten Auftrags gefertigt wird,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Vorrichtung

- 20      - einen Sortierpuffer für Fertigungsobjekte umfaßt, der eine festgelegte Höchstanzahl verfügbarer Plätze für Fertigungsobjekte besitzt,
- Mittel zum Prüfen, ob ein Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge und ein Auftrag der Auftrags-
- 25      Abfolge zueinander passen,
- Mittel zum Prüfen, ob ein Fertigungsobjekt im Sortierpuffer und ein Auftrag der Auftrags-Abfolge zueinander passen,
- 30      - Mittel zum Prüfen, ob für alle Fertigungsobjekte, die in der Fertigungsobjekt-Abfolge vor einem zum ersten Auftrag passenden Fertigungsobjekt angeordnet sind, freie Plätze im Sortierpuffer verfügbar sind, und

- Mittel zum Einstellen eines Fertigungsobjekts der Fertigungsobjekt-Abfolge in den Sortierpuffer umfaßt.

5 26. Vorrichtung nach Anspruch 25,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Vorrichtung

- einen elektronischen Zwischenspeicher für Aufträge,
- Mittel zum Einstellen eines Auftrags in den Zwischenspeicher,
- Mittel zum Prüfen, ob ein Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge und ein Auftrag im Zwischenspeicher zueinander passen,
- und Mittel zum Entfernen eines Auftrags aus dem Zwischenspeicher

umfaßt.

27. Vorrichtung nach Anspruch 25 oder Anspruch 26,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Vorrichtung

- einen Sortierpuffer für Teilsysteme, die gemäß der Auftrags-Abfolge hergestellt und im zweiten Teilprozeß für die Fertigung der Produkte verwendet werden,
- und Mittel zum Einstellen eines solchen Teilsystems in den Teilsysteme-Sortierpuffer

umfaßt.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 27,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- der Sortierpuffer mehrere Teil-Sortierpuffer für Fertigungsobjekte umfaßt
  - und die Vorrichtung
    - Mittel zum automatischen Auswählen eines Teil-Sortierpuffers
    - und Mittel zum Einstellen eines Fertigungsobjekts in einen ausgewählten Teil-Sortierpuffer
- umfaßt.

10 29. Vorrichtung nach Anspruch 28,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Mittel zum automatischen Auswählen eines Teil-Sortierpuffers

- Mittel zur Erzeugung einer aktuellen Bewertung jedes Teil-Sortierpuffers bezüglich eines einzustellenden Fertigungsobjekts
- und Mittel zum Verwenden der Bewertungen für das Auswählen eines Teil-Sortierpuffers

umfassen.

20

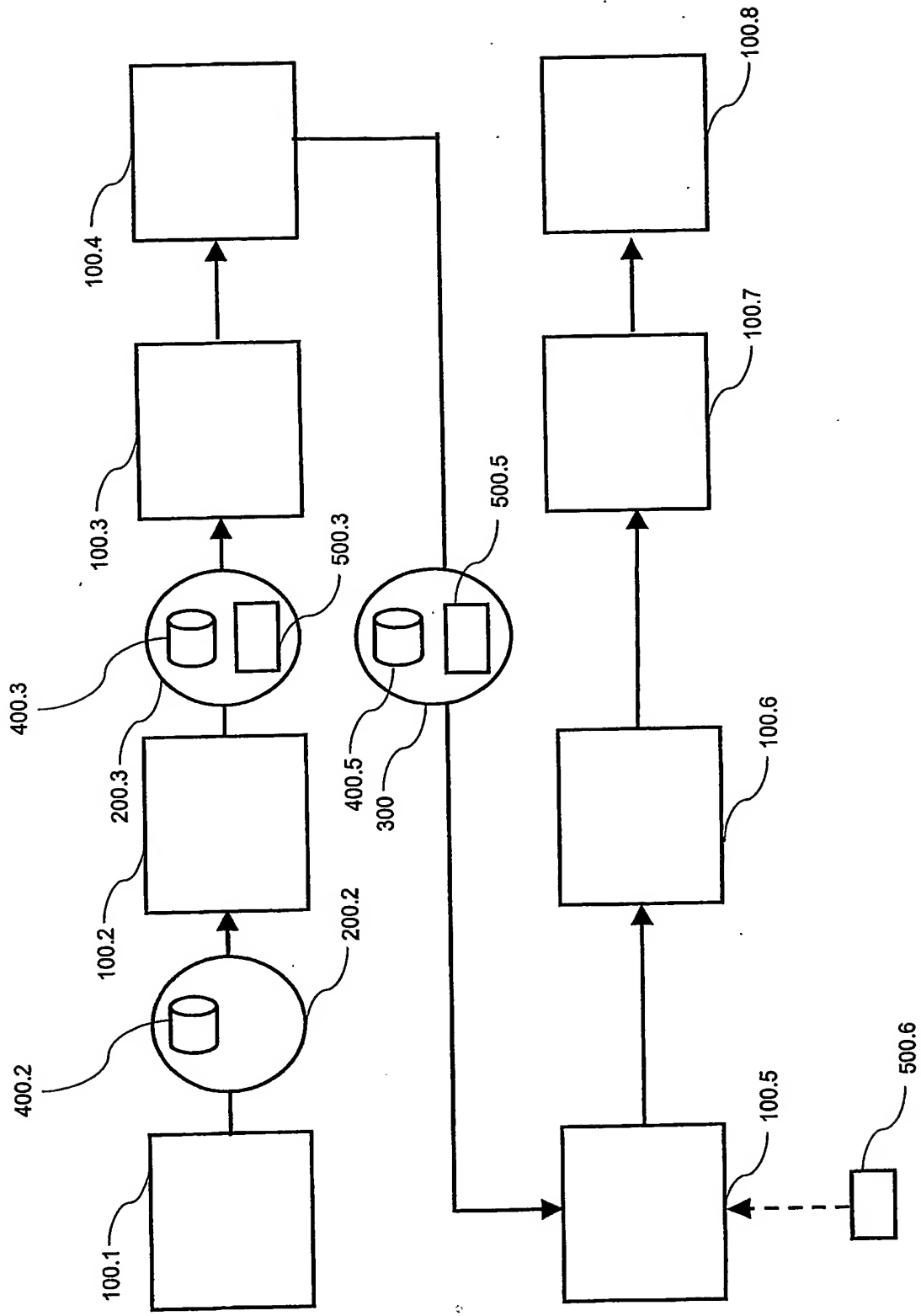


Fig. 1

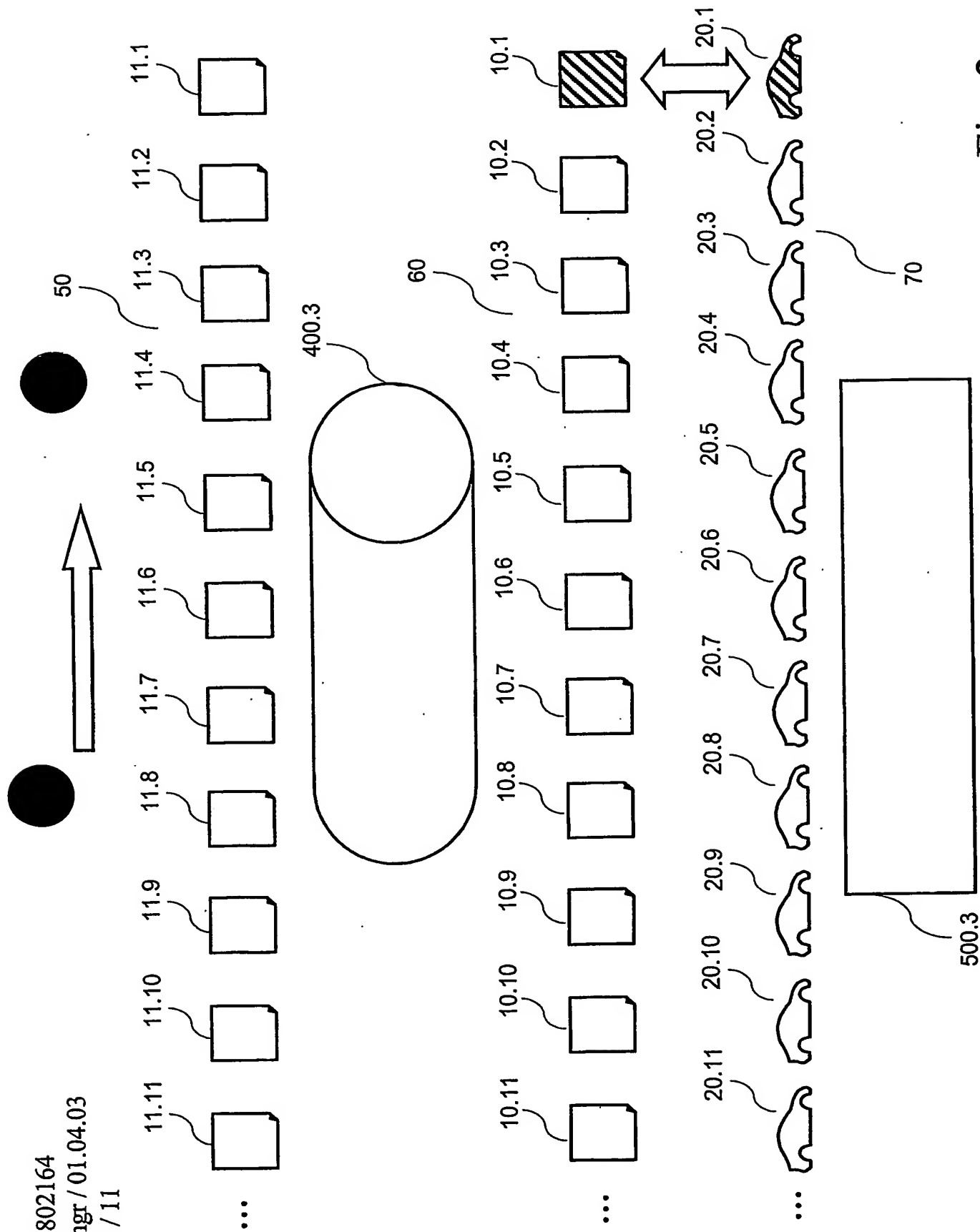


Fig. 2

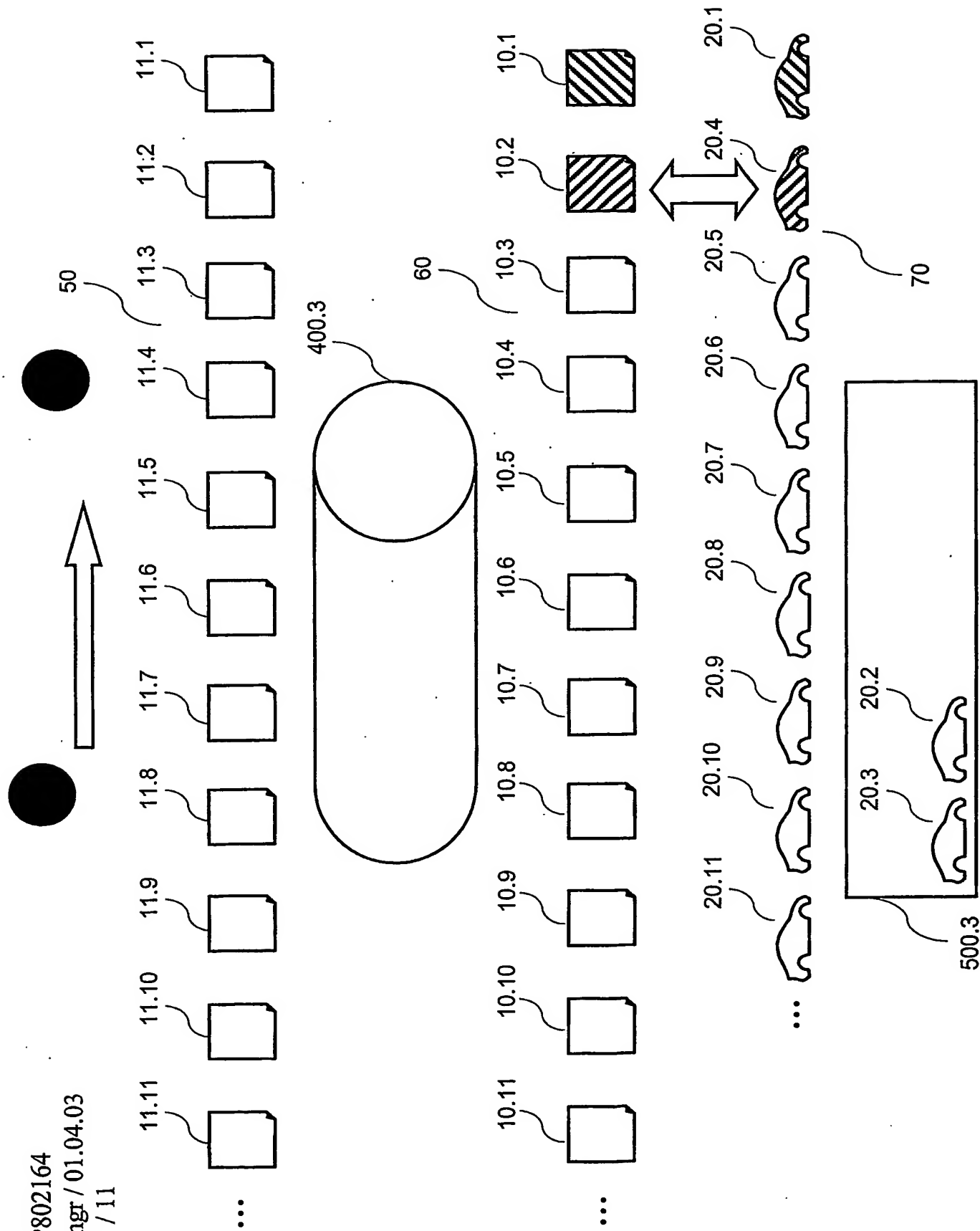


Fig. 3

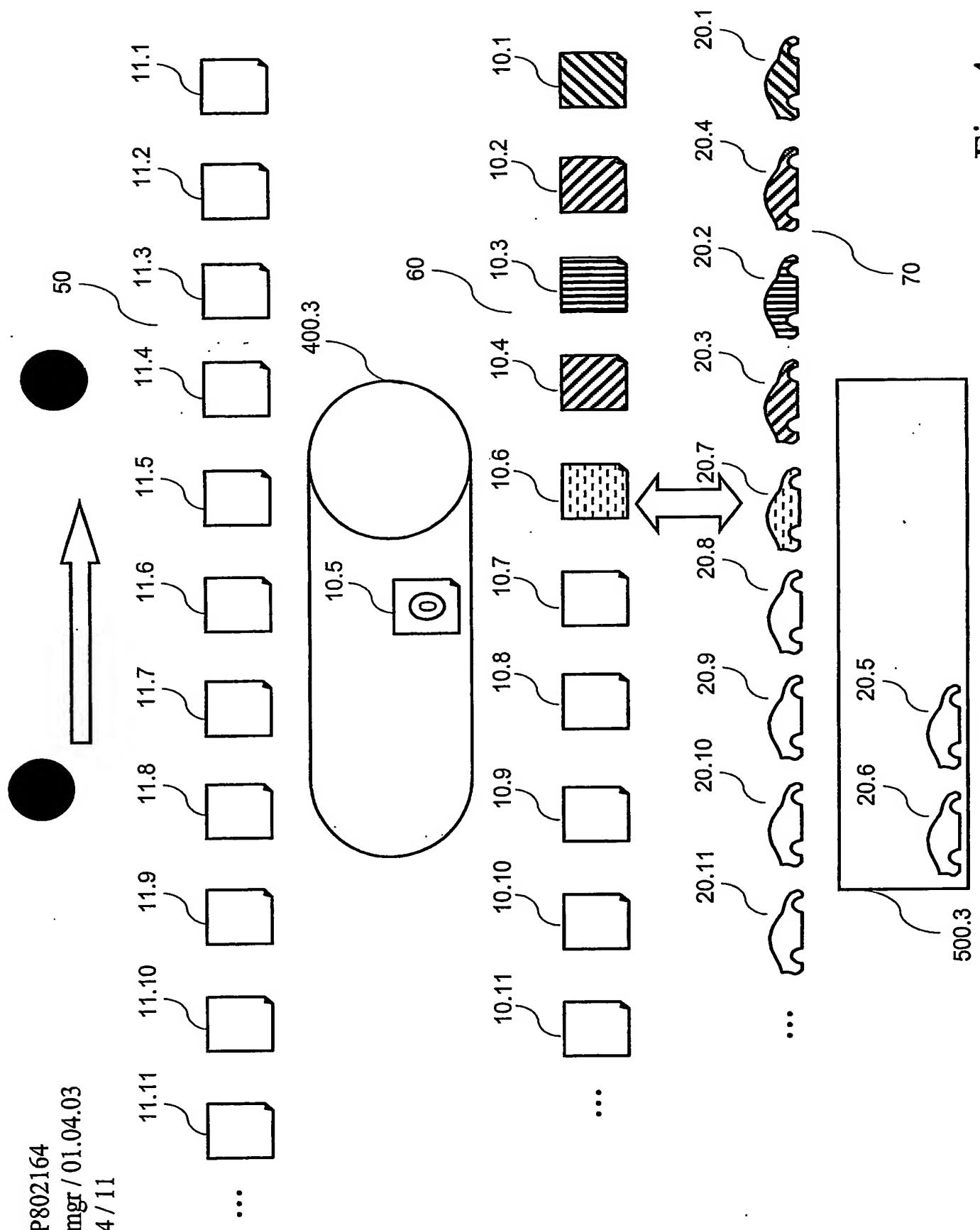


Fig. 4



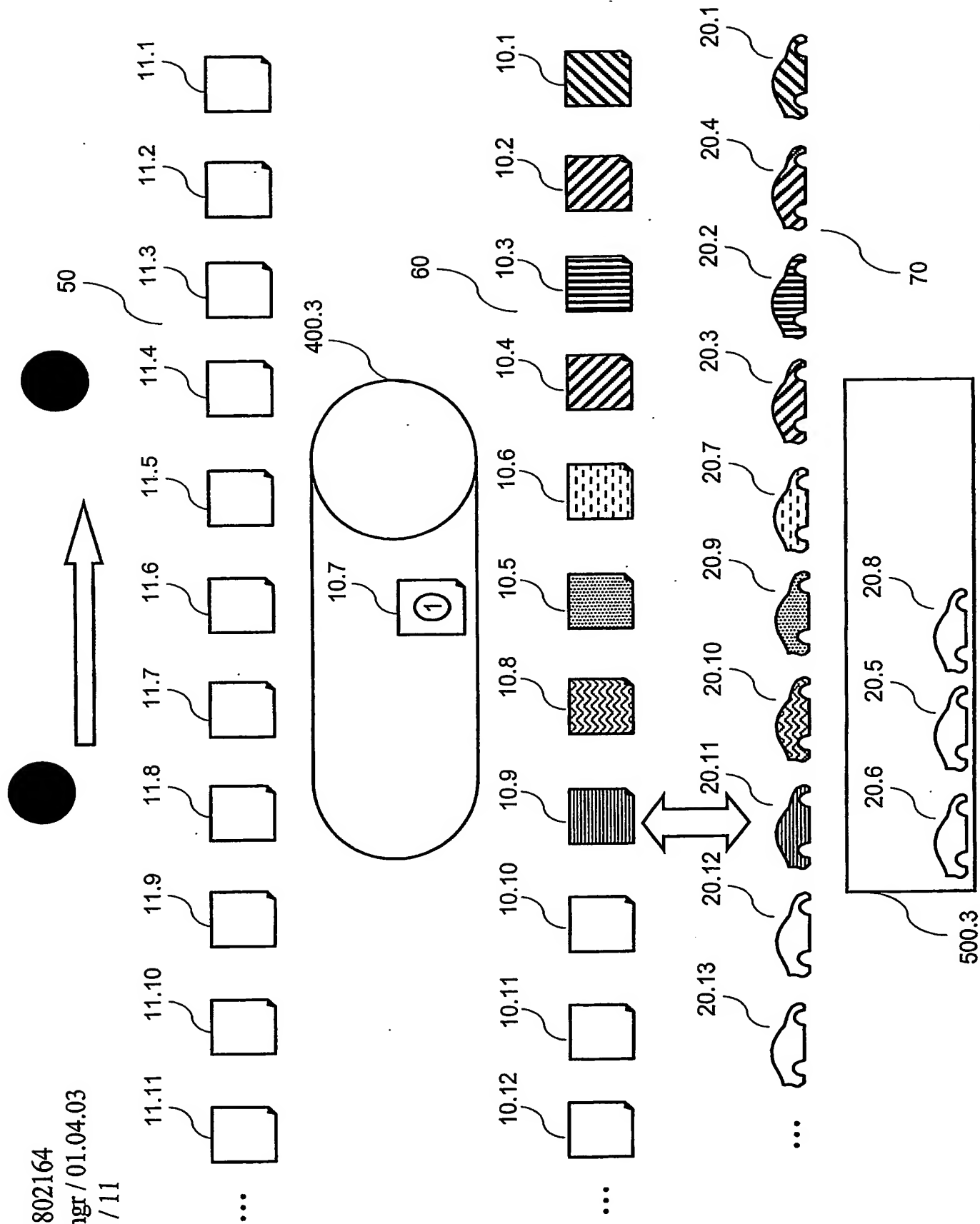


Fig. 5

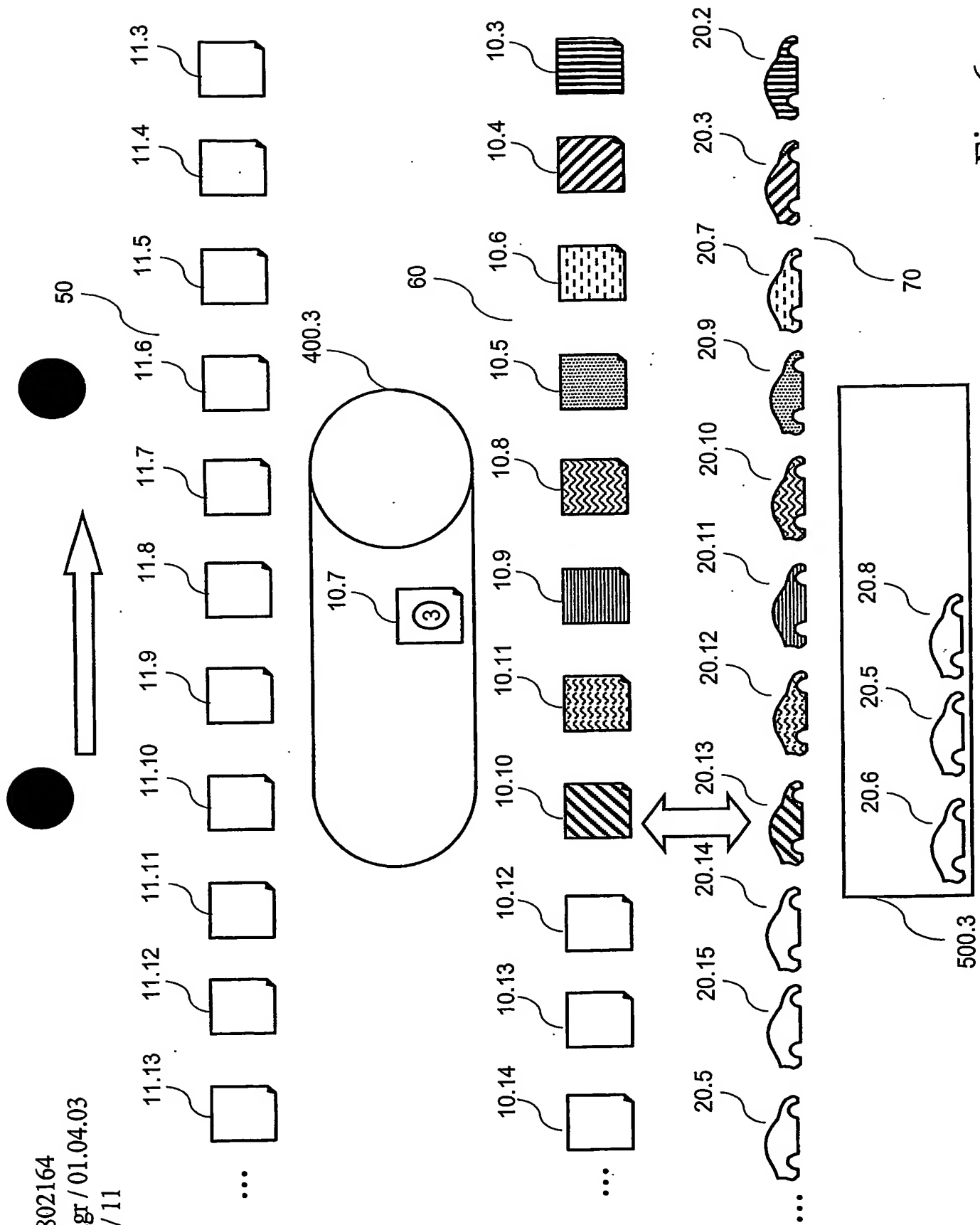


Fig. 6

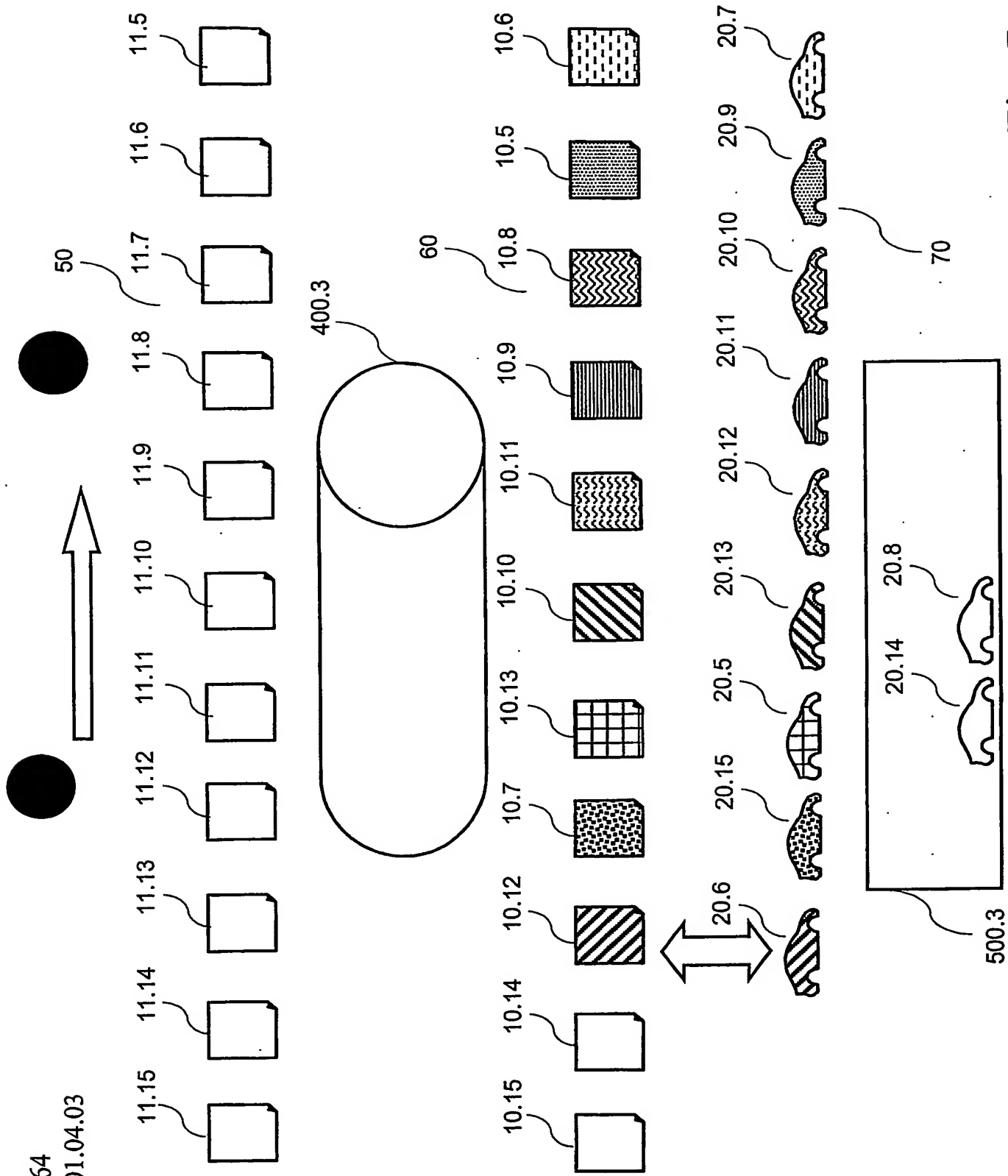


Fig. 7

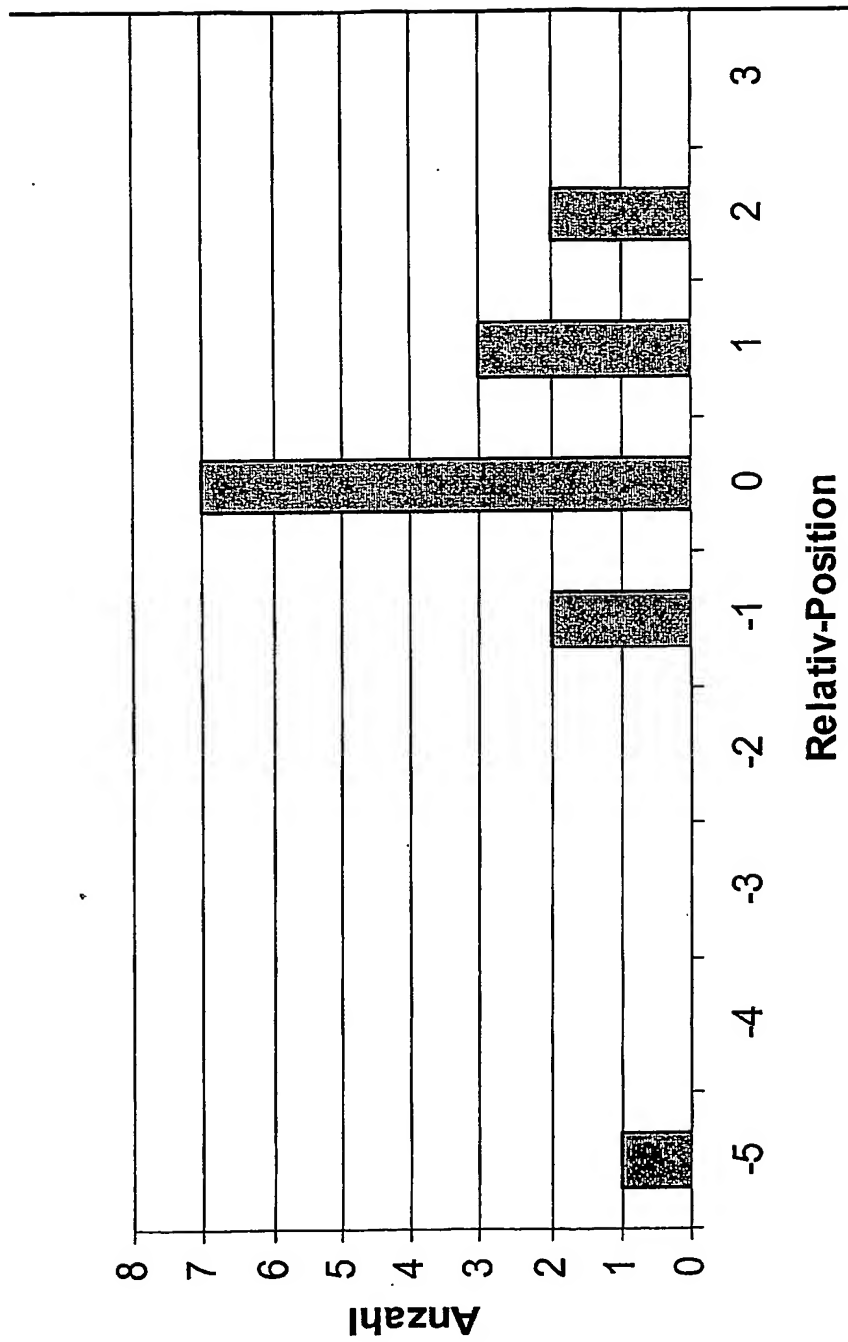


Fig. 8

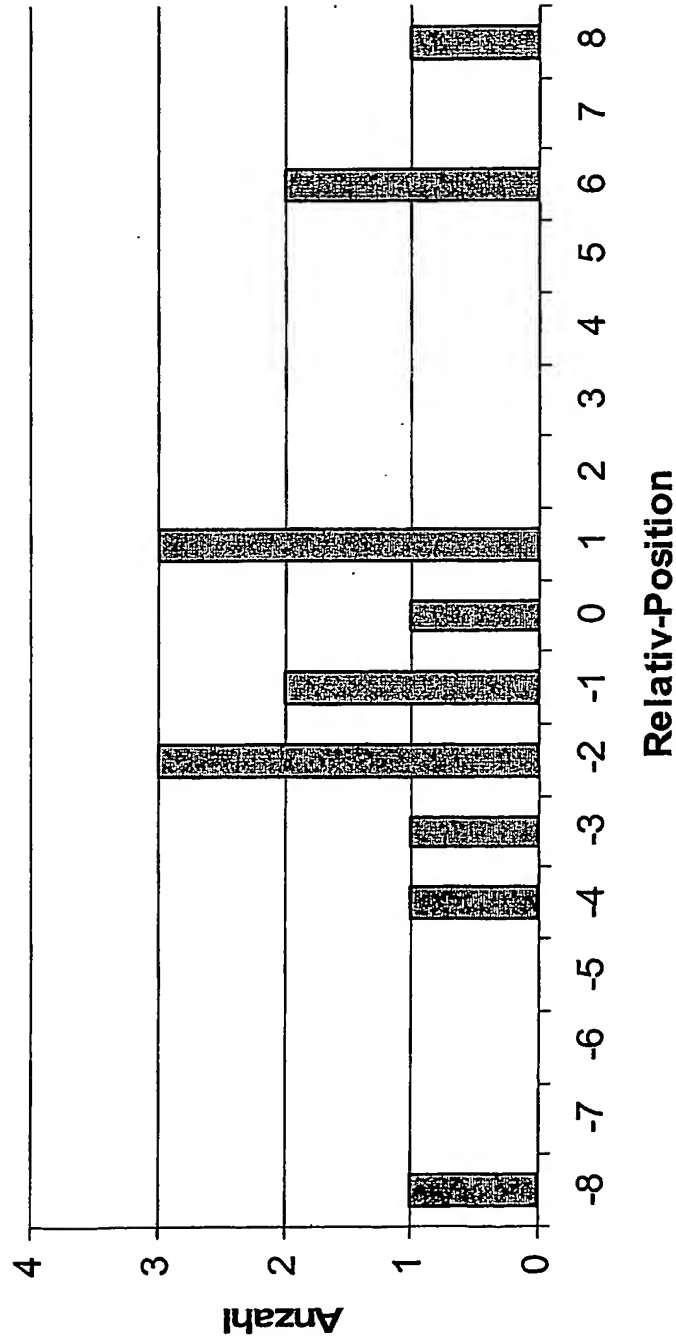
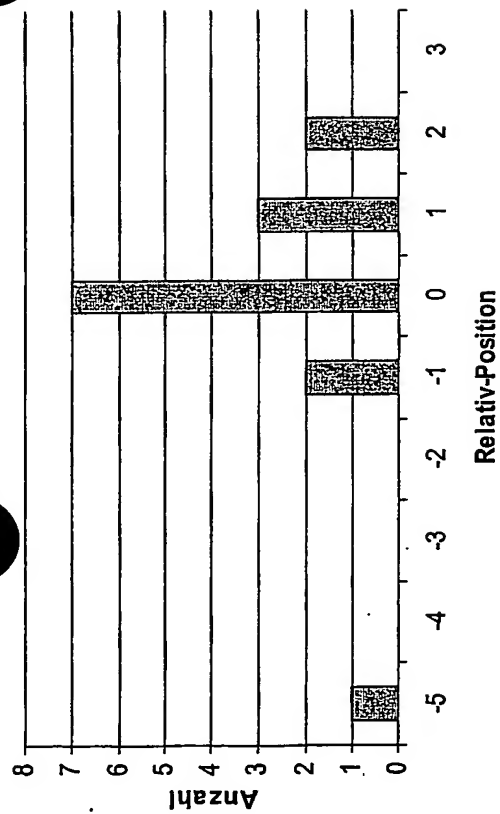


Fig. 9

P802164  
mgr / 01.04.03  
10 / 11

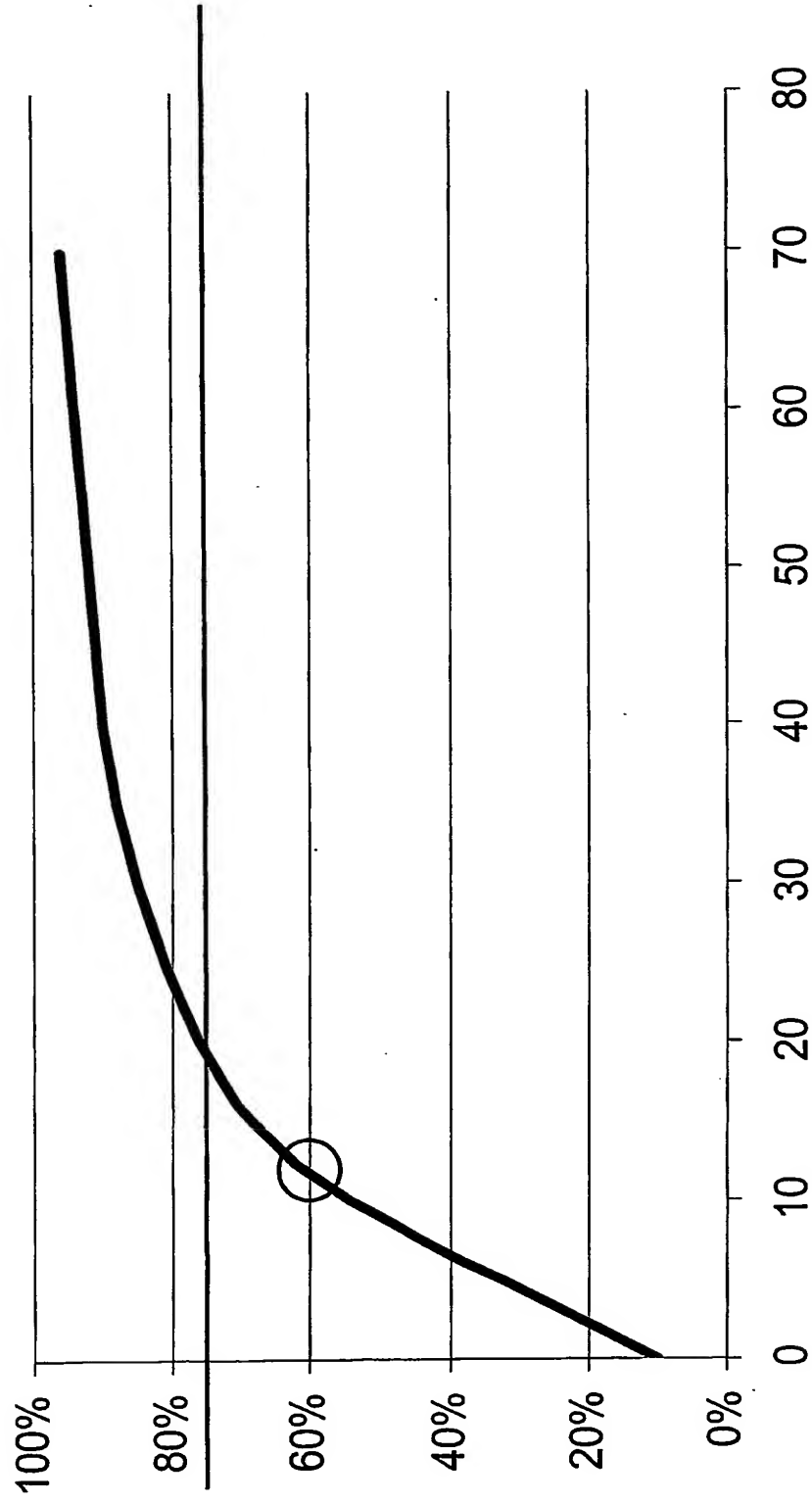


Fig. 10

P802164  
mgr / 01.04.03  
11 / 11

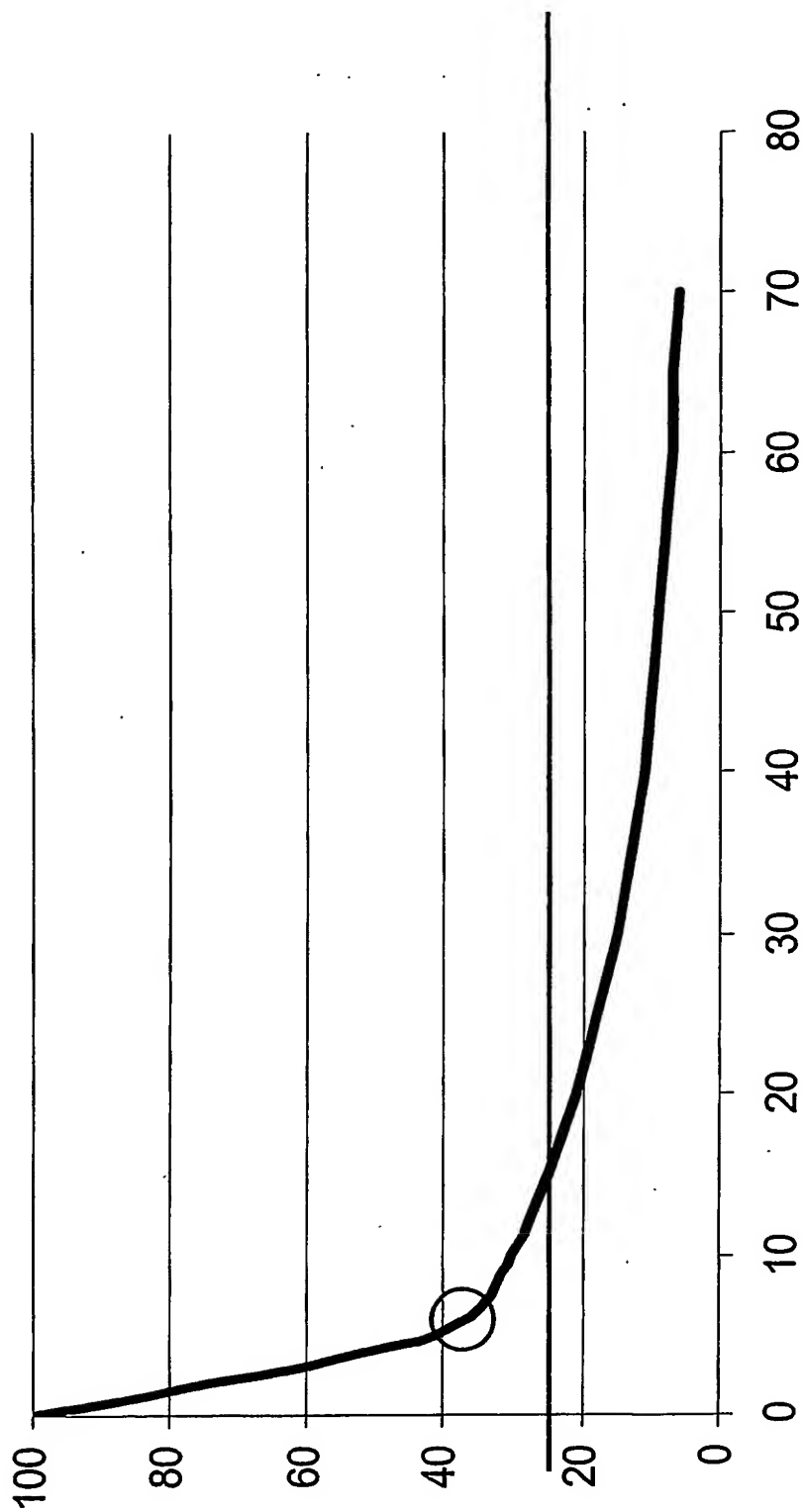


Fig. 11

DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

03.04.2003

Zusammenfassung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Steuerung eines Fertigungsprozesses zur Serienfertigung auftrags-spezifischer Produkte. Der Fertigungsprozeß umfaßt einen ersten und einen zweiten Teilprozeß sowie einen Sortierpuffer (500.3), der eine festgelegte Höchstanzahl verfügbarer Plätze  
10 für Fertigungsobjekte (20.2, 20.3, ...) besitzt. Eine Abfolge (60) von Aufträgen für Produkte, die im Fertigungsprozeß gefertigt werden, wird erzeugt. Im ersten Teilprozeß wird gemäß der Auftrags-Abfolge eine Abfolge (70) von Fertigungsobjekten gefertigt. Ein Auswahlvorgang wird durchgeführt, bei dem ein  
15 Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge und ein Auftrag der Auftrags-Abfolge, die zueinander passen, ausgewählt werden. Dann, wenn der erste Auftrag der Auftrags-Abfolge weder zu einem Fertigungsobjekt im Sortierpuffer noch zum ersten Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge paßt und wenn  
20 genügend freie Plätze im Sortierpuffer vorhanden sind, werden der erste Auftrag und das passende Fertigungsobjekt der Fertigungsobjekt-Abfolge ausgewählt. Alle Fertigungsobjekte der Fertigungsobjekt-Abfolge (70) vor dem ausgewählten Fertigungsobjekt werden in den Sortierpuffer (500.3) eingestellt.  
25 Vorzugsweise wird durch Simulationen die Anzahl verfügbarer Plätze ermittelt.

(Fig. 6)



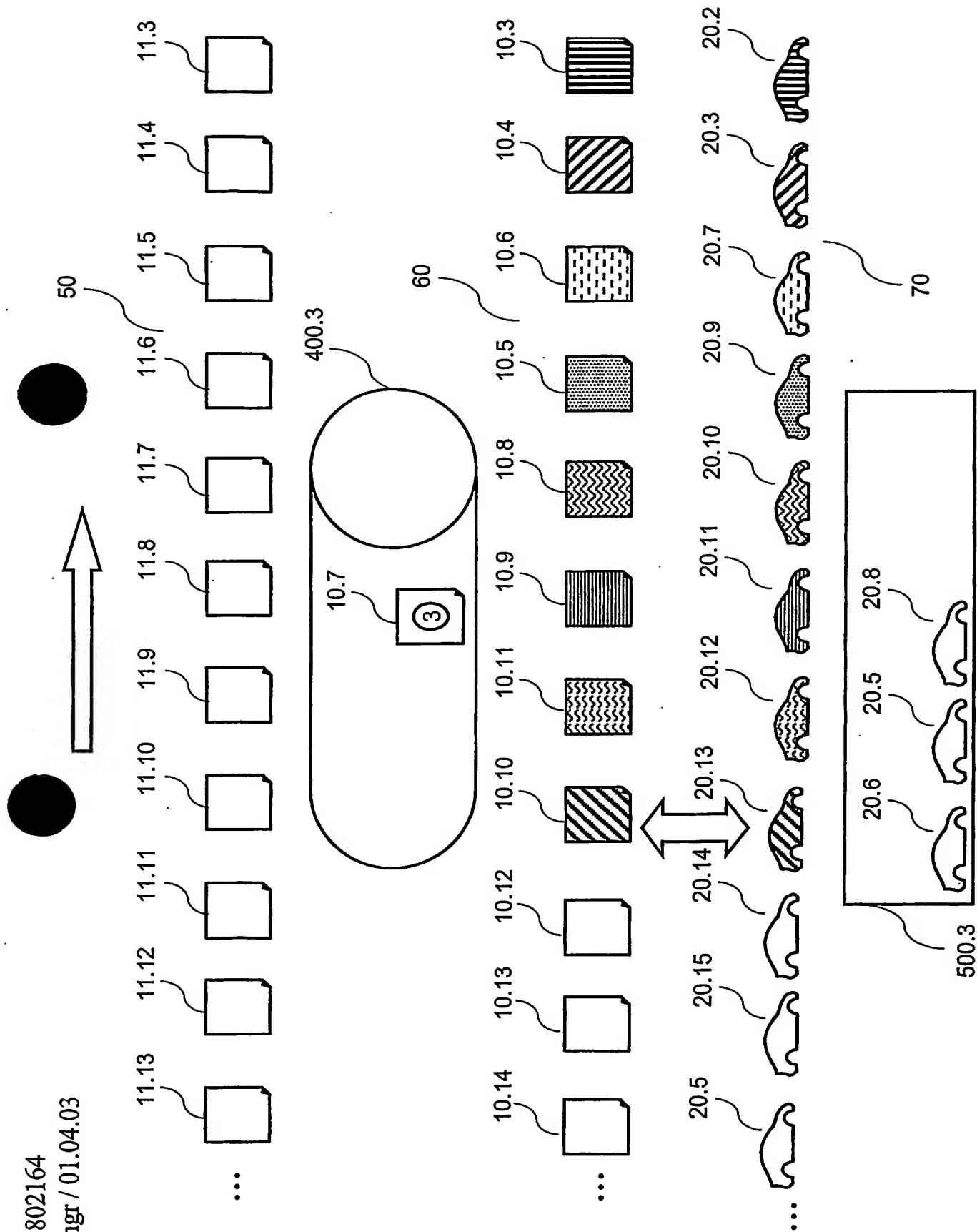


Fig. 6